



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN DESAIN ALTERNATIF IPAL  
DENGAN TEKNOLOGI *ANAEROBIC BAFFLED  
REACTOR* DAN *ANAEROBIC FILTER* UNTUK  
RUMAH SUSUN ROMOKALISARI SURABAYA**

Agastya Mahatyanta  
3312100114

Dosen Pembimbing :  
Dr. Ir. M. Razif, MM.

Dosen Co-Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, MSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERENCANAAN DESAIN ALTERNATIF IPAL  
DENGAN TEKNOLOGI *ANAEROBIC BAFFLED*  
*REACTOR* DAN *ANAEROBIC FILTER* UNTUK  
RUMAH SUSUN ROMOKALISARI SURABAYA**

Agastya Mahatyanta  
3312100114

Dosen Pembimbing :  
Dr. Ir. M. Razif, MM.

Dosen Co-Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. NiekeKarnaningroem, MSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FakultasTeknikSipildanPerencanaan  
InstitutTeknologiSepuluhNopember  
Surabaya  
2016



FINAL PROJECT - RE 141581

***ALTERNATIVE DESIGN OF WASTEWATER  
TREATMENT PLANT WITH ANAEROBIC  
BAFFLED REACTOR AND ANAEROBIC FILTER  
FOR ROMOKALISARI FLATS SURABAYA***

AgastyaMahatyanta  
3312100114

Dosen Pembimbing :  
Dr. Ir. M. Razif, MM.

Dosen Co-Pembimbing :  
Prof. Dr. Ir. NiekeKarnaningroem, MSc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN DESAIN ALTERNATIF IPAL DENGAN TEKNOLOGI ANAEROBIC BAFFLED REACTOR DAN ANAEROBIC FILTER UNTUK RUMAH SUSUN ROMOKALISARI SURABAYA


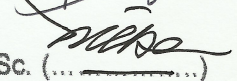
#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**AGASTYA MAHATYANTA**  
NRP 33 12 100 114

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Mohammad Razif, MM. 
2. Prof. Dr. Ir. Niek Karnaningroem, MSc. 



## **Perencanaan Desain Alternatif IPAL dengan Teknologi Anaerobic Baffled Reactor dan Anaerobic Filter Untuk Rumah Susun Romokalisari Surabaya**

Nama : Agastya Mahatyanta  
NRP : 3312100114  
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. M. Razif, MM.  
Dosen Co-pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke K., MSc.

### **ABSTRAK**

Rumah Susun Romokalisari adalah rumah susun yang terletak di kota Surabaya dan berdiri sejak tahun 2015. Walaupun masih termasuk baru, rumah susun ini memiliki beberapa permasalahan dikarenakan tidak adanya pengolahan air limbah *grey water* yang memadai. Selain itu air buangan dari tangki septik rumah susun yang tidak diolah dapat membahayakan kualitas air tanah di sekitar rumah susun. Oleh karena itu perlu adanya unit pengolahan limbah tambahan untuk mengolah kedua air buangan tersebut. Perencanaan ini memberikan dua alternatif unit yang akan digunakan yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter*. Kedua unit ini dipilih karena biaya pembangunan dan perawatannya yang murah serta operasionalnya yang mudah, berdasarkan literatur dan penelitian-penelitian sebelumnya.

Desain ini diawali dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Data primer yang dipakai adalah data jumlah penghuni, debit air bersih, dan luas lahan yang tersedia. Data sekunder berupa HSPK kota Surabaya tahun 2015. Kemudian dilakukan pengolahan data berupa perhitungan dimensi unit *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* yang mengacu pada kriteria desain tiap unit IPAL yang terdapat pada literatur serta membuat DED, BOQ, dan RAB tiap unit IPAL termasuk perhitungan anggaran biaya *operational and maintenance* (OM) masing-masing unit selama waktu operasional 5 tahun. Hasil perhitungan tiap unit IPAL akan dibandingkan dan dipilih unit mana yang cocok untuk digunakan di Rumah Susun Romokalisari.

Hasil perhitungan desain IPAL Anaerobic filter dimensi bak ekualisasi (2,2 m x 1,1 m x 1 m), septic tank kompartemen I (4 m x 2 m x 2 m) kompartemen II (2 m x 2 m x 2 m), AF tiap kompartemen (2 m x 4,5 m x 2 m) sebanyak 4 buah. Perhitungan desain IPAL Anaerobic Baffled Reactor menghasilkan dimensi bak ekualisasi (2,2 m x 1,1 m x 1 m), septic tank (3 m x 2 m x 2 m), ABR tiap kompartemen (1 m x 2,8 m x 2m) sebanyak 6 buah. Rencana Anggaran Biaya Unit AF Rp 230.586.289,- biaya OM Rp 4.085.579,-/bulan. Sedangkan Unit ABR Rp144.458.126,-serta biaya OM Rp 4.052.245,-/ bulan. Anaerobic Baffled Reactor memiliki keunggulan dari segi kebutuhan lahan, efisiensi removal, serta biaya konstruksi dan OM dibandingkan dengan Anaerobic Filter. Oleh karena itu disimpulkan bahwa unit Anaerobic Baffled Reactor lebih cocok digunakan di Rumah Susun Romokalisari.

**Kata Kunci:** Air limbah rumah susun, ABR, *Anaerobic Filter*, *black water*, *grey water*

**ALTERNATIVE DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT  
PLANT WITH ANAEROBIC BAFFLED REACTOR AND  
ANAEROBIC FILTER FOR ROMOKALISARI FLATS  
SURABAYA**

Name	: Agastya Mahatyanta
NRP	: 3312100114
Department	: Environmental Engineering ITS
Supervisor	: Dr. Ir. M. Razif, MM.
Co-Supervisor	: Prof. Dr. Ir. Nieke K., MSc.

**ABSTRAK**

Romokalisari Flats is located at Surabaya City and has been built since 2015. Although this flats is relatively new but this flats have some difficulties that caused by the absence of grey water treatment. Also the untreated septictank discharge water can endanger the quality of ground water. Therefore additional wastewater treatment needs to be built to treat it. This design give two alternatives that will be used, *Anaerobic Baffled Reactor* and *Anaerobic Filter*. The two units is chosen because of the cheap construction and operational cost also for easy maintenance, according to the previous research.

This design is started by gathering primary and secondary data. Primary data is occupancy data, fresh water flow, and available area. Secondary data is HSPK kota Surabaya year 2015. Then the data is processed by calculating the dimension of *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* that refer to design criteria from literature also making DED, BOQ, and RAB each of units including operational and maintenance cost for five year range. The result of calculation will be compared and chosen which unit that will be used in the flats.

Calculation result of Anaerobic filter: equalization tank dimension (2,2 m x 1,1 m x 1 m), settler tank compartment I (4 m x 2 m x 2 m) compartment II (2 m x 2 m x 2 m), AF each compartment (2 m x 4,5 m x 2 m) for the total of 4 compartment. Calculation result of Anaerobic Baffled Reactor (2,2 m x 1,1 m x 1 m), settler tank (3 m x 2 m x 2 m), ABR each compartment (1 m x 2,8 m x 2m) for the amount of 6 compartment. Construction

cost of Unit AF Rp 230.586.289,- cost of OM Rp 4.085.579,- /month. While Unit ABR Rp144.458.126,- along with OM cost of Rp 4.052.245,-/month. Anaerobic Baffled Reactor have advantages from area needs, removal efficiency,, also construction and OM cost compared to Anaerobic Filter. Therefore it can be concluded that Anaerobic Baffled Reactor is more suitable to be built in Romokalisari flats.

**Kata Kunci:** Flats wastewater, ABR, *Anaerobic Filter*, *black water*, *grey water*



## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan YME yang telah melimpahkan Rahmat-Nya sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan Tugas Akhir ini mengambil judul “Perencanaan Desain Alternatif IPAL dengan Teknologi Anaerobic Baffled Reactor dan Anaerobic Filter Untuk Rumah Susun Romokalisari Surabaya”. Dalam penulisan ini, penulis sampaikan terima kasih kepada :

1. Tuhan YME dan orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan,
2. Dr. Ir. M. Razif, MM. dan Prof. Dr. Ir. Nieke K., MSc. selaku dosen pembimbing dan co-pembimbing yang membimbing penyusunan laporan tugas akhir ini dengan tulus dan ikhlas,
3. Teman-teman Laboratorium MKL Teknik Lingkungan atas kebersamaan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
4. Sahabat-sahabat yang selalu mendukung: teman-teman seangkatan 2012 dan angkatan lainnya.

Pada penulisan tugas akhir telah diusahakan semaksimal dan sebaik mungkin, namun tentunya masih terdapat kesalahan, untuk itu kritik dan saran sangat penulis harapkan. Terima Kasih.

Surabaya, 20 Mei 2016

Agastya Mahatyanta

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup .....	2
1.4 Tujuan .....	2
1.5 Manfaat .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Air Limbah Domestik .....	5
2.2 Bak Ekuualisasi.....	8
2.3 <i>Anaerobic Filter</i> .....	9
2.4 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> .....	9
BAB 3 METODOLOGI PERENCANAAN .....	13
3.1 Tahapan Perencanaan.....	13
3.2 Kerangka Perencanaan.....	16
BAB 4 GAMBARAN UMUM PERENCANAAN .....	25
4.1 Gambaran Umum Gedung Perencanaan.....	25
4.2 Sistem Pengolahan Air Limbah.....	26
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
5.1 Perhitungan debit dan kualitas air limbah .....	27
5.2 Evaluasi IPAL Eksisting.....	28
5.3 Desain Unit IPAL.....	30
5.4 BOQ dan RAB.....	56
5.5 Perbandingan Masing-Masing IPAL.....	66
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
6.1 Kesimpulan .....	69
6.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN .....	72

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Bak Ekualisasi .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Potongan Melintang Bak Ekualisasi.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Anaerobik Filter.....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Penampang Membujur Unit ABR.....	12
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Kerangka Perencanaan .....	19
<b>Gambar 4.1</b>	Tampak atas Rumah Susun Romokalisari ....	26
<b>Gambar 5.1</b>	Grafik removal COD.....	29
<b>Gambar 5.2</b>	Skema Alternatif Desain 1 .....	30
<b>Gambar 5.3</b>	Skema Alternatif Desain 2.....	31
<b>Gambar 5.4</b>	fluktuasi air bersih .....	32
<b>Gambar 5.5</b>	Grafik Volume Bak Ekualisasi .....	35
<b>Gambar 5.6</b>	Pompa Grundfos SRP.23.30.905 .....	40
<b>Gambar 5.7</b>	Persentase Air Limbah Rumah Susun .....	40

## **Bab I**

### **Pendahuluan**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk di Kota Surabaya semakin meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan jumlah lahan tersedia yang semakin berkurang. Hal ini membuat Surabaya mulai banyak membangun apartemen maupun rumah susun. Bangunan vertikal ini menjadi alternatif karena satu gedung terdapat banyak unit yang satu unitnya dapat ditempati satu keluarga.

Salah satu rumah susun di Surabaya adalah Rumah Susun Romokalisari. Rumah susun Romokalisari terletak di Kelurahan Romokalisari, Kecamatan Benowo, Kota Surabaya. Rumah susun ini terdiri dari gedung A, B, C, D, dan E dimana gedung A dan B selesai dibangun tahun 2015 dan langsung ditempati pada tahun tersebut, sedangkan gedung C, D, dan E masih dalam tahap pembangunan.

Berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan bahwa *grey water* pada rumah susun Romokalisari dibuang langsung ke drainase. *Grey water* pada semua gedung ini dihasilkan dari air bekas cuci baju, mandi, dan memasak. *Black water* pada rumah susun dialirkan ke tangki septik lalu dibuang melalui sumur resapan. Sistem pengolahan air limbah seperti ini sudah sesuai dengan pedoman teknis pembangunan rumah susun berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 05/PRT/M/2007. Walaupun begitu, dikarenakan kondisi ketinggian air tanah di Kecamatan Benowo yang tinggi (Badan Lingkungan Hidup, 2012), *effluent* yang dibuang dikhawatirkan akan mencemari air tanah. Selain itu persen *removal* COD dari tangki septik hanya berkisar antara 25 – 50%, sehingga dibutuhkan pengolahan lanjutan setelah melalui unit tangki septik (Sasse *et al.*, 2009). Oleh karena itu disarankan untuk dilakukan perencanaan desain instalasi pengolahan air limbah pada rumah susun Romokalisari menggunakan unit yang baru.

Terdapat beberapa alternatif pengolahan dalam mengolah air limbah domestik., seperti *Anaerobic Baffled Reactor*, *Anaerobic Filter*, *Aerobic Biofilter*, *Constructed Wetland*, *Ponds*, dan lain-lain. Dari sekian banyak alternatif pengolahan air limbah

dipilihlah unit *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* sebagai pengolahan yang cocok untuk rumah susun ini. Hal ini dikarenakan kedua unit ini memiliki persen pengolahan yang cukup tinggi, serta mudah dalam perawatan dan operasional karena tidak memerlukan pengawasan khusus.

*Anaerobic Baffled Reactor* adalah kombinasi dari beberapa prinsip proses pengolahan anaerobik: tanki septik, *fluidised bed reactor* dan UASB. Efisiensi removal COD sekitar 65% - 90% dan BOD sekitar (70% - 95%) (Sasse *et al.*, 2009). *Anaerobic Filter* merupakan salah satu teknologi pengolahan anaerobik dengan sistem *attached growth*. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Said (2000), efisiensi removal *Anaerobic Filter* untuk COD adalah sekitar 79,6% – 95,3% sedangkan untuk BOD adalah 84,7% - 91%.

Pengolahan air limbah domestik dengan alternatif teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* dilakukan agar air buangan dari kegiatan domestik di rumah susun Romokalisari dapat memenuhi syarat dari peraturan pemerintah yang berlaku, yaitu Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013 Berdasarkan peraturan tersebut terdapat beberapa parameter air limbah yang harus disesuaikan dengan baku mutu, antara lain BOD, COD, dan TSS. Parameter-parameter tersebut dapat mencemari lingkungan sekitar jika dibuang secara kontinyu.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini antara lain:

1. Bagaimana desain unit *Anaerobic Baffled Reactor* sebagai pengolah air limbah domestik pada Rumah Susun Romokalisari?
2. Bagaimana desain unit *Anaerobic Filter* sebagai pengolah air limbah domestik pada Rumah Susun Romokalisari?
3. Berapa biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan operasional masing – masing IPAL?

## **1.3 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam perencanaan ini meliputi:

1. Wilayah perencanaan yaitu Rumah Susun Romokalisari.
2. Limbah yang diolah dalam perencanaan ini adalah air limbah domestik yang terdiri dari *grey water* dan *black water*.
3. Baku mutu effluent mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 Tahun 2013.
4. Parameter air limbah yang diuji adalah BOD, COD, dan TSS.

#### **1.4 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Memperoleh desain rinci IPAL dengan proses *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* untuk Rumah Susun Romokalisari.
2. Mendapatkan nilai Volume Pekerjaan (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pembangunan dan operasional maintenance masing – masing IPAL.
3. Melakukan perbandingan dua alternatif dari segi volume, efisiensi penyisihan, serta biaya konstruksi dan operation maintenance (OM).

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari perencanaan ini adalah:

1. Memberikan alternatif pengolahan air limbah domestik yang efektif dan efisien untuk digunakan di lingkungan rumah susun.
2. Memberikan informasi tentang anggaran biaya untuk membangun IPAL *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* untuk rumah susun.
3. Membantu mengurangi pencemaran air tanah dan badan air di sekitar lingkungan rumah susun.

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**



## **BAB 2**

### **Tinjauan Pustaka**

#### **2.1 Air Limbah Domestik**

Air limbah domestik merupakan air buangan yang bersumber dari rumah tangga, industri rumahan atau tempat-tempat umum yang sifatnya dapat membahayakan makhluk hidup dan mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf dan Eddy, 2014). Air limbah domestik juga bisa diartikan sebagai air yang membawa padatan terlarut atau tersuspensi dari tempat tinggal, kebun, perdagangan, dan industri (*Environmental Protection Agency*, 1977). Sedangkan menurut P. Salvato (1982). Air limbah rumah domestik terdiri dari sisa metabolisme tubuh manusia (tinja dan air seni), buangan dapur dan buangan kamar mandi yang berasal dari pembersihan badan, pencucian pakaian, penyiapan makanan, dan pencucian peralatan dapur.

##### **2.1.1 Parameter Kualitas Air Limbah Domestik**

Parameter kualitas air limbah domestik adalah sebagai berikut:

1. *Total Suspended Solids* (TSS)

TSS atau jumlah padatan yang terlarut dalam air merupakan hasil dari penyaringan padatan terlarut, yang biasanya bersifat partikel koloid dan pengendapannya dengan gravitasi (Said, 2000).

2. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan zat organik biodegradable yang ada di dalam air. BOD ditentukan dengan cara mengukur oksigen yang diserap oleh sampel air limbah akibat adanya mikroorganisme selama satu periode waktu tertentu, biasanya 5 hari pada satu temperatur tertentu, umumnya 20° C ( $_{20}^5BOD$ ). Semakin banyak zat organik yang diuraikan oleh bakteri, maka semakin banyak pula kebutuhan oksigen (Said, 2000).

3. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

COD adalah jumlah oksigen kimiawi yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik. Nilai COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat dioksidasi

secara ilmiah melalui proses mikrobiologis dan dapat berakibat berkurangnya oksigen di dalam air (Yudo, 2010).

4. Amonia( $\text{NH}_3$ )

Amonia merupakan gas alkalin yang tidak berwarna, lebih ringan dari udara dan punya aroma khas menyengat. Biasanya senyawa ini didapati berupa gas dengan bau tajam yang khas. Amonia merupakan senyawa kasutik dan dapat merusak kesehatan. Kontak tubuh dengan gas amonia berkonsentrasi tinggi dapat menyebabkan kerusakan paru-paru bahkan menyebabkan kematian (Yudo, 2010).

5. pH

Derajat keasaman (pH) merupakan parameter penting untuk kulaitas air dan air limbah. pH mempunyai peranan didalam proses pengolahan air limbah. Apabila pH terlalu rendah maka jumlah oksigen terlarut dan konsusmsi oksigen akan menurun (Yudo, 2010).

### 2.1.2 Metode Pengolahan Air Limbah Domestik

Pengolahan air limbah bertujuan untuk menghilangkan dan/atau mengurangi kontaminasi yang ada di dalam air limbah sehingga tidak mengganggu apabila dibuang ke lingkungan. Pada prinsipnya, air limbah dapat diolah dengan 3 proses, yaitu proses secara fisik, kimiawi, dan biologis. Ketiga proses tersebut bisa digabung/dikombinasikan dan bisa dilakukan secara terpisah. Pemilihan jenisa pengolahan air limbah berdasarkan karakteristik dan jenis air limbah itu sendiri.

1. Pengolahan Secara Fisika

Pengolahan limbah domestik secara fisika bisa dilakukan dengan cara filtrasi, sedimentasi, flotasi dan adsorpsi. Proses pengolahan fisika yang umum di terapkan dalam pengolahan air limbah yaitu sedimentasi. Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan cara mengendapkan zat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Abraiman dan Houssam, 2000). Flotasi adalah pengolahan air limbah dengan cara memanfaatkan daya apung untuk memisahkan partikel padat rendah densitas. Adsorpsi dilakukan dengan cara

penambahan adsorben agar terjadi penumpukan materi pada *interface* antara zat kontaminan dan adsorben.

## 2. Proses Biologis

Pengolahan air limbah secara biologis aerobik secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi. Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikro-organisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *trickling filter* atau *biofilter*, *rotating biological contactor (RBC)*, *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya (Said, 2010).

### 2.1.3 Debit Air Limbah

Debit air limbah berasal dari kegiatan domestik, infiltrasi air tanah dan faktor lainnya. Debit air limbah rata-rata dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ww} = (60 - 85) \% \times Q_w \quad (2.1)$$

Keterangan :

$Q_{ww}$  = Debit air limbah (liter/orang.hari)

$Q_w$  = Debit rata-rata air bersih (liter/orang.hari)

Faktor pengali debit rata-rata air limbah ditentukan berdasarkan pemakaian air bersih yang keluarannya tidak mengalir menuju unit pengolahan seperti air yang digunakan untuk menyiram tanaman. Persamaan 2.1 tersebut dapat digunakan untuk menentukan debit air limbah domestik maupun non domestik. Penjumlahan antara debit air limbah domestik dengan non domestik nantinya debit air limbah rata-rata ( $Q_{ave}$ ). Debit air limbah tidak dapat berlangsung konstan selama 24 jam. Terdapat fluktuasi yang dipengaruhi oleh pemakaian air bersih,

ketika pemakaian air bersih berada pada jam puncak air limbah yang dihasilkan pun membesar. Debit air limbah puncak ( $Q_{\text{peak}}$ ) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{peak}} = f_{\text{peak}} \times Q_{\text{ave}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$Q_{\text{peak}}$  = Debit air limbah puncak (l/detik)

$f_{\text{peak}}$  = Faktor puncak

$Q_{\text{ave}}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

Faktor puncak merupakan rasio antara debit puncak dengan debit rata-rata. Menurut Fair dan Geyer, 1954 penentuan faktor puncak dapat dicari dengan persamaan 2.3.

$$f_{\text{peak}} = (18 + P^{0.5}) / (4 + P^{0.5}) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$P$  = jumlah penduduk (jiwa)

Debit air limbah minimum juga dapat terjadi ketika pemakaian air tidak terlalu banyak. Menurut Fair dan Geyer (1954) penentuan debit minimum dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_{\text{min}} = 1/5 \times (P)^{1/6} \times Q_{\text{ave}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$Q_{\text{min}}$  = debit air limbah minimum (l/detik)

$P$  = Jumlah penduduk

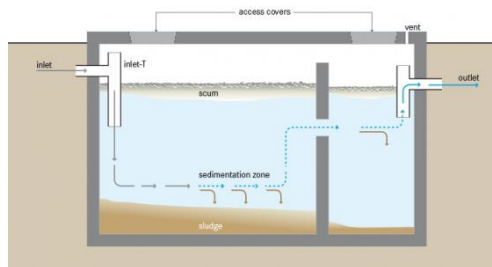
$Q_{\text{ave}}$  = Debit air limbah rata-rata (l/detik)

## 2.2 Tangki Septik

Septic Tank atau sering disebut sebagai tangki septik adalah bangunan pengolah dan pengurai kotoran tinja manusia cara setempat (onsite) dengan menggunakan bantuan bakteri. Tangki ini dibuat kedap air sehingga air dalam tangki septik tidak dapat meresap ke dalam tanah dan akan mengalir keluar melalui saluran yang disediakan. Septic tank (dengan disertai bidang resapan) merupakan salah satu bentuk pengolahan limbah setempat yang umum digunakan di Indonesia dan

direkomendasikan sebagai pilihan teknologi yang relatif aman.

Kerja bakteri dalam melakukan pengolahan limbah yang memadai dalam tangki septik sangat bergantung pada pengoperasian dan perawatan yang benar yang dilakukan oleh rumah tangga bersangkutan. Mengingat pentingnya peran bakteri tersebut maka perlu dihindari masuknya bahan-bahan yang berbahaya bagi keberadaan bakteri ke dalam septic tank. Bahan-bahan itu di antaranya adalah pemutih pakaian, bahan-bahan kimia, cat, maupun deterjen.



**Gambar 2.1** Contoh Potongan Melintang Tangki Septik  
(Sumber: Tilley, 2014)

➤ Perhitungan Dimensi

- Volume Zona Settling

$$V_{\text{settling}} = \frac{Q_p}{t_d} \quad (2.5)$$

Dimana :

- $t_d$  = waktu detensi (hari)
- $Q_p$  =  $Q$  peak ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

- Volume Zona Stabilisasi

$$V_{\text{stabilisasi}} = R_s \times p \quad (2.6)$$

Dimana :

- $R_s$  =  $0,043 \text{ m}^3/\text{orang}$
- $p$  = jumlah penduduk

- Volume Zona Lumpur

$$V_{\text{lumpur}} = s \times n \times p \quad (2.7)$$

Dimana :

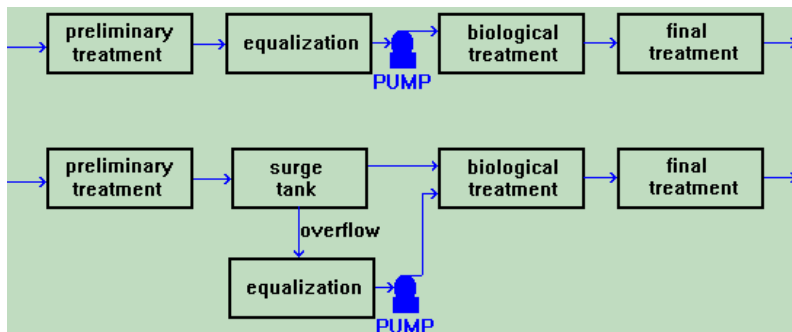
- $s$  = jumlah lumpur yang diambil per pengurasan;  $0,04 \text{ m}^3$  (asumsi)
- $p$  = jumlah penduduk (orang)
- $n$  = jumlah pengurasan (tahun)

### 2.3 Bak Ekualisasi

Menurut Tchobanoglous (2003), Bak ekualisasi adalah suatu bak penampung air limbah agar debit air limbah yang diolah menjadi konstan. Bak ekualisasi bukan merupakan suatu proses pengolahan. Kegunaan dari bak ekualisasi adalah:

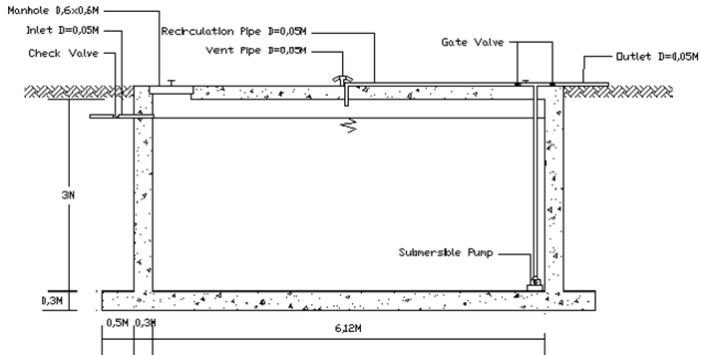
1. Sebagai penampung air limbah, sehingga membuat air limbah yang masuk dari berbagai sumber (toilet, wastafel, dll.) dapat bercampur sehingga menghasilkan karakteristik air limbah yang bersifat homogen.
2. Menstabilkan debit yang masuk kedalam instalasi pengolahan air limbah akibat adanya variasi debit yang masuk.
3. Menstabilkan konsentrasi air limbah yang akan masuk ke dalam IPAL.

Tipe pemasangan bak ekualisasi dibedakan menjadi dua macam, yakni sistem in-line dan sistem off-line. Perbedaan keduanya dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



**Gambar 2. 2** Diagram in-line dan off-line bak ekualisasi  
(Sumber: Tchobanoglous, 2003)

Penempatan lokasi bak ekualisasi disesuaikan dengan sistem IPAL. Penempatan bak setelah pengolahan fisik dapat mengurangi padatan tersuspensi, namun penempatan sebelum pengolahan fisik harus dapat menyeimbangkan padatan tersuspensi dan konsentrasi limbah.



**Gambar 2.3** Contoh Potongan Melintang Bak Ekualisasi  
(Sumber: Bilal,2014)

Proses pengadukan diperlukan dalam bak ekualisasi. Hal ini dilakukan agar kualitas effluen dapat tercampur dengan optimal. Proses pengadukan bisa dilakukan dengan berbagai cara, msalnya dengan aerator, *paddle mixer*, ataupun dengan menggunakan pompa resirkulasi yang dapat menghasilkan aliran turbulen.

### 2.3 Anaerobic Filter

Anaerobic Filter atau yang sering disebut fixed bed atau fixed film reactor, mengolah padatan yang tidak diendapkan dan padatan terlarut dengan cara mengontakkannya pada bakteri. Bakteri yang “lapar” akan mencerna bahan organik terlarut dalam waktu yang singkat. Kebanyakan bakteri tidak dapat bergerak. Mereka cenderung melekatkan diri pada media padat, misalnya dinding reactor (Sasse,1998).

Menurut Morel dan Diener (2006) Anaerobic Filter adalah pengolahan air limbah terlekat menggunakan biofilm yang bertujuan untuk menyisihkan padatan yang tidak dapat mengendap dan padatan terlarut. Anaerobic Filter menggunakan tangki yang memiliki beberapa lapisan media terendam yang memiliki luas permukaan untuk melekatkan bakteri. Ketika air limbah mengalir melewati filter biasanya dari bawah ke atas (upflow), air limbah akan melakukan kontak dengan biomassa pada filter dan mengalami degradasi anaerobik.

Media filter seperti kerikil, batu atau plastik memiliki luas permukaan tambahan untuk melekatkan bakteri. Semakin luas permukaan media untuk pertumbuhan bakteri maka semakin cepat proses penguraiannya. Sebuah media filter yang baik memiliki 90 – 300 m<sup>2</sup> luas permukaan setiap m<sup>3</sup> volume reaktor. Permukaan yang kasar memiliki luas area yang lebih besar, paling tidak pada fase awal. Lama kelamaan bakteri yang tumbuh akan semakin banyak sehingga luas permukaan media akan berkurang. Luas permukaan pada media biofilter tidak lebih penting dibandingkan dengan kemampuannya dalam menahan partikel padat (Sasse, 1998).

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Said (2000), media yang paling efektif untuk biofilter aerob maupun anaerob adalah media sarang tawon. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan luas permukaan berbagai media biofilter pada tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2.1** Perbandingan luas permukaan spesifik media biofilter

No.	Jenis Media	Luas permukaan spesifik(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
1	Trickling Filter dengan batu pecah	100-200
2	Modul Sarang Tawon (Honeycomb Modul)	150-240
3	Tipe Jaring	50
4	RBC	80 -150

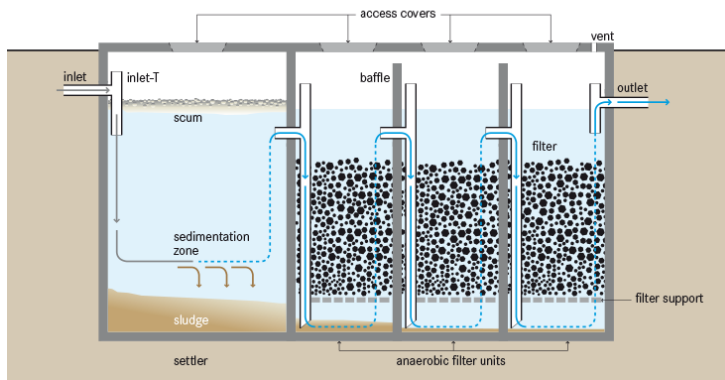
(Sumber: Said, 2000)



Kualitas pengolahan jika Anaerobic Filter berjalan dengan baik adalah berkisar 70 – 90% untuk penyisihan BOD. Anaerobic Filter sangat cocok digunakan untuk mengolah air limbah domestic dan industri yang memiliki kandungan TSS rendah. Anaerobic Filter dapat dioperasikan secara up-flow maupun down-flow. Sistem up-flow lebih dianjurkan karena resiko terbuangnya bakteri aktif akan lebih rendah. Kriteria desain yang penting adalah distribusi aliran yang stabil ketika melalui area filter. Panjang filter tidak boleh melebihi kedalaman air. Batasan beban organik berkisar antara 4 – 5 kg COD/m<sup>3</sup>.hari. Waktu tinggal hidraulik dibandingkan dengan volume tangka harus berada antara 1,5 – 2 hari.

Kriteria desain AF berdasarkan Sasse (1998) adalah sebagai berikut:

- Luas permukaan media : 90-300 m<sup>2</sup> /m<sup>3</sup>
- Penyisihan BOD : 70-90%
- Jenis media : kerikil, batu (5-10 cm), plastik, arang (5-15 cm)
- Organic loading : <4.5 kg COD/m<sup>3</sup> .hari
- *Hydraulic retention time* : 1 - 2 hari



**Gambar 2.4** Anaerobik Biofilter yang Terintegrasi dengan Tangki Septik  
(Sumber: Tilley et al., 2014)

## Cara menghitung Dimensi *Anaerobic Filter*

Langkah – langkah untuk menghitung dimensi *Anaerobic Filter* adalah sebagai berikut:

1.) Buatlah perhitungan data menggunakan spread sheet seperti Tabel 2.2

**Tabel 2.2** Data Umum untuk Perhitungan *Anaerobic Filter* + Tangki Septik

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	General spreadsheet for anaerobic filter (AF) with integrated septic tank (ST)											
2	daily waste water flow	time of most waste water flow	max. peak flow per hour	COD inflow	BOD <sub>5</sub> inflow	SS <sub>settle</sub> /COD ratio	lowest digester temperature	HRT in septic tank	de-sludging interval	COD-removal septic tank	BOD <sub>5</sub> removal septic tank	BOD/COD-removal factor
3	given	given	calcul.	given	given	given	given	chosen	chosen	calcul.	calcul.	calcul.
4	m <sup>3</sup> /day	h	m <sup>3</sup> /h	mg/l	mg/l	mg/l	°C	h	month	%	%	ratio
5	25.0	12	2.08	633	333	0.42	25	2	36	25%	26%	1.06
6	COD/BOD <sub>5</sub> ->			1.90	0.35 - 0.45 (domestic)			2h			BOD <sub>rem</sub> -> 1.06	

(Sumber: Sasse, 2009)

Keterangan:

$$C5 = A5/B5$$

Dimana:

$$C5 = Q_{\text{peak}}/\text{jam air limbah (m}^3/\text{jam)}$$

$$A5 = Q_{\text{ave}}/\text{hari air limbah (m}^3/\text{hari)}$$

$$B5 = \text{waktu aliran air limbah (jam)}$$

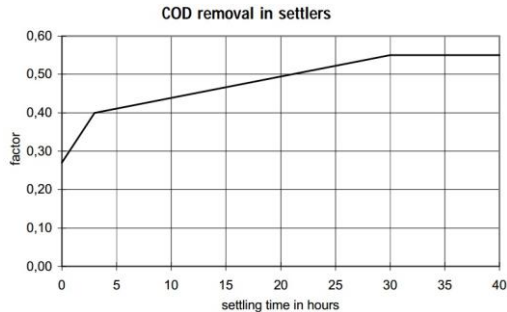
$$J5 = F5 / 0.6 \times \text{IF} (H5 < 1; H5 \times 0.3; \text{IF} (H5 < 3; (H5 - 1) \times 0.1 / 2 + 0.3; \text{IF}(H5 < 30; (H5 - 3) \times 0.15 / 27 + 0.4; 0.55)))$$

Dimana: J5 = presentase penyisihan COD pada bak pengendap

$$F5 = \text{rasio padatan tersuspensi/COD (mg/l)}$$

$$H5 = \text{waktu tinggal pada bak pengendap}$$

Persamaan di atas terkait dengan Gambar 2.7, sedangkan nilai 0,6 didapat dari pengalaman (Sasse, 1998).



**Gambar 2.5** Grafik COD Removal pada Tangki Septik  
(Sumber: Sasse, 1998)

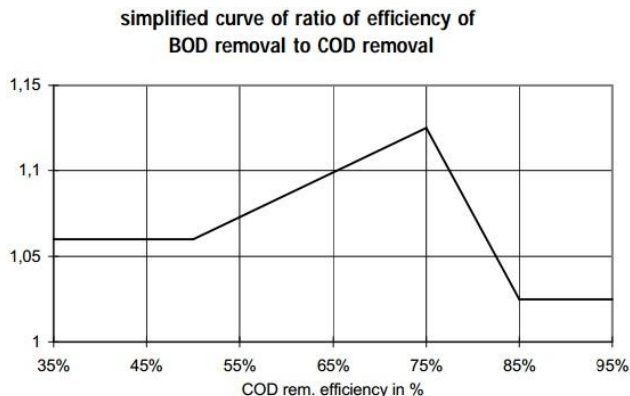
$$K5 = L5 \times J5$$

Dimana:

- K5 = presentase penyisihan BOD<sub>5</sub> pada bak pengendap
- L5 = rasio penyisihan BOD/COD
- J5 = presentase penyisihan COD pada bak pengendap

$$L5 = \begin{cases} 1.06; & \text{IF } (J5 < 0.5); \\ 1.06 + (J5 - 0.5) \times 0.065 / 0.25; & \text{IF } (J5 < 0.75); \\ 1.125 - (J5 - 0.75) \times 0.1 / 0.1; & \text{IF } (J5 < 0.85); \\ 1.025; & \text{IF } (J5 > 0.85); \end{cases}$$

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.8.



**Gambar 2.6** Grafik Hubungan Efisiensi Removal BOD dan COD  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$D6 = D5 / E5$$

Dimana:  $D6$  = rasio konsentrasi influen COD/BOD<sub>5</sub>  
 $D5$  = konsentrasi influen COD (mg/l)  
 $E5$  = konsentrasi influen BOD<sub>5</sub> (mg/l)

2.) Hitunglah data pengolahan seperti spread sheet Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Data Pengolahan untuk Perhitungan *Anaerobic Filter* + Tangki Septik

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7	treatment data											
8	COD inflow in AF	BOD <sub>5</sub> inflow into AF	specific surface of filter medium	voids in filter mass	HRT inside AF reactor	factors to calculate COD-removal rate of anaerobic filter				COD-removal rate (AF only)	COD outflow of AF	COD-removal rate of total system
9	calcul.	calcul.	given	given	chosen	calculated according to graphs				calcul.	calcul.	calcul.
10	mg/l	mg/l	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	%	h	f-temp	f-strength	f-surface	f-HRT	%	mg/l	%
11	478	247	100	35%	30	1,00	0,91	1,00	69%	70	142	78%
12			80 - 120	30 - 45	24 - 48 h							

(Sumber: Sasse, 2009)

Keterangan:

$$A11 = D5 \times (1 - J5)$$

Dimana:  $A11$  = konsentrasi influen COD pada unit AF (mg/l)  
 $D5$  = konsentrasi influen COD pada bak pengendap (mg/l)  
 $J5$  = presentase penyisihan COD pada bak pengendap (mg/l)

$$B11 = E5 \times (1 - K5)$$

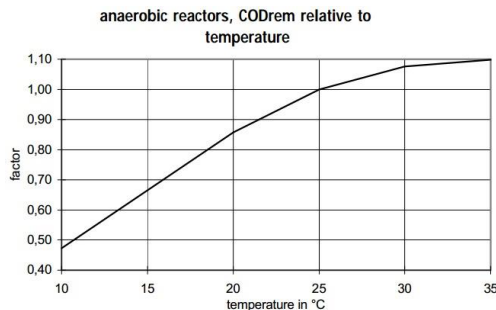
Dimana:  $B11$  = konsentrasi influen BOD<sub>5</sub> pada unit AF (mg/l)  
 $E5$  = konsentrasi influen BOD<sub>5</sub> pada bak pengendap (mg/l)

K5 = persentase penyisihan BOD<sub>5</sub> pada bak pengendap (mg/l)

$$F11 = IF (G5 < 20; (G5 - 10) \times 0.39 / 20 + 0.47; IF(G5 < 25; (G5 - 20) \times 0.14 / 5 + 0.86; IF (G5 < 30; (G5 - 25) \times 0.08 / 5 + 1; 1.1)))$$

Dimana: F11= nilai faktor suhu terhadap penyisihan COD  
G11= nilai faktor kekuatan karakteristik air limbah terhadap penyisihan COD

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.7.



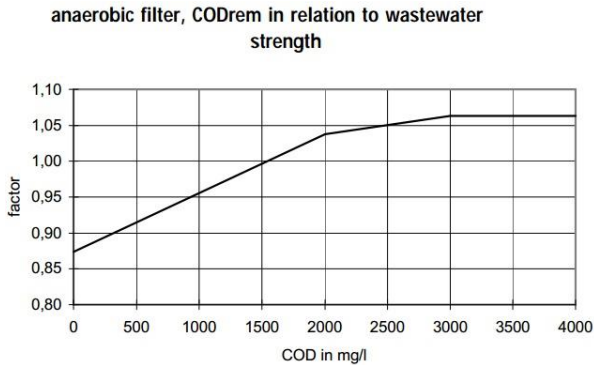
**Gambar 2.7** Grafik Hubungan Efisiensi Removal COD dengan Temperatur pada *Anaerobic Filter*  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$G11 = IF (A11 < 2000; A11 \times 0.17 / 2000 + 0.87; IF (A11 < 3000; (A11 - 2000) \times 0.02 / 1000 + 1.04; 1.06))$$

Dimana: G11 = nilai faktor kualitas air limbah terhadap penyisihan COD

A11 = konsentrasi influen COD pada unit AF (mg/l)

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.8

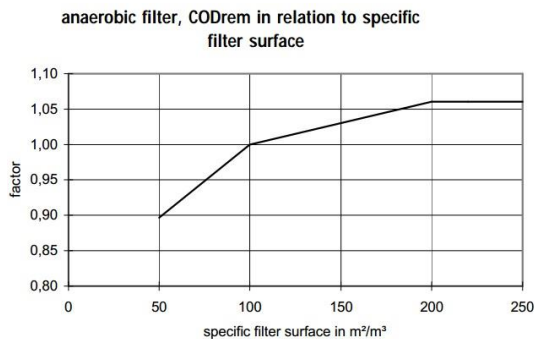


**Gambar 2.8** Grafik Hubungan Efisiensi Removal COD dengan Kualitas Air Limbah pada *Anaerobic Filter*  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$H_{11} = \begin{cases} \text{IF } (C_{11} < 100; (C_{11} - 50) \times 0.1 / 50 + 0.9; \\ \text{IF } (C_{11} < 200; (C_{11} - 100) \times 0.06 / 100 + 1; 1.06) \end{cases}$$

Dimana:  $H_{11}$  = nilai faktor luas permukaan spesifik media pada AF terhadap penyisihan COD  
 $C_{11}$  = luas permukaan spesifik media pada AF ( $\text{m}^2/\text{m}^3$ )

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.9.



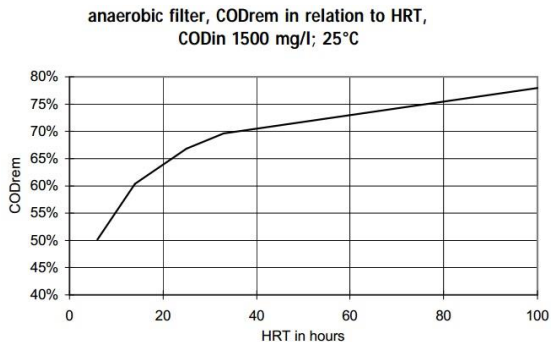
**Gambar 2.9** Grafik Hubungan Efisiensi Removal COD dengan Luas Permukaan pada *Anaerobic Filter*  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$I11 = \text{IF} (E11 < 12; E11 \times 0.16 / 12 + 0.44; \text{IF} (E11 < 24; (E11 - 12) \times 0.07 / 12 + 0.6; \text{IF} (E11 < 33; (E11 - 24) \times 0.03 / 9 + 0.67; \text{IF} (E11 < 100; (E11 - 33) \times 0.09 / 67 + 0.7; 0.78)))$$

Dimana:  $I11$  = nilai faktor waktu tinggal pada unit AF terhadap penyisihan COD

$E11$  = waktu tinggal pada unit AF (hari)

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Grafik Hubungan Efisiensi Removal COD dengan Nilai Hydraulic Retention Time pada Anaerobic Filter  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$J11 = \text{IF} (F11 \times G11 \times H11 \times I11 \times (1 + (D23 \times 0.04)) < 0.98; F11 \times G11 \times H11 \times I11 \times (1 + (D23 \times 0.04)); 0.98)$$

Dimana:  $J11$  = presentase penyisihan COD pada unit AF  
 $D23$  = jumlah kompartemen pada unit AF

Persamaan tersebut bergantung pada kemampuan peningkatan efisiensi removal dengan cara penambahan kamar atau kompartemen dengan membatasi nilai efisiensi removal sampai dengan 98%.

$$K11 = A11 \times (1 - J11)$$

Dimana:  $K11$  = konsentrasi efluen COD pada unit AF  
mg/l)

A11 = konsentrasi influen COD pada unit AF  
(mg/l)

J11 = presentase penyisihan COD pada unit AF

$$L11 = (1 - K11 / D5)$$

Dimana: L11 = presentase penyisihan COD pada bak  
pengendap + AF

K11 = konsentrasi efluen COD pada unit AF  
(mg/l)

D5 = konsentrasi influen COD pada bak  
pengendap (mg/l)

3.) Hitung dimensi tangki septik dengan membuat spread  
sheet seperti Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Data Perhitungan Dimensi Tangki Septik

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
13	dimensions of septic tank											
14	BOD/ COD removal factor	BOD <sub>5</sub> rem. rate of total system	BOD <sub>5</sub> outflow of AF	inner width of septic tank	min. wa- ter depth at inlet point	inner length of first chamber		length of second chamber		sludge accum.	volume incl. sludge	actual volume of septic tank
15	calcul.	calcul.	calcul.	chosen	chosen	calcul.	chosen	calcul.	chosen	calcul.	requir.	calcul.
16	ratio	%	mg/l	m	m	m	m	m	m	l/kg BOD	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
17	1.10	85	49	1.75	2.25	1.69	1.70	0.85	0.85	0.00	10.00	10.04
18	sludge l/kg BODrem.											

(Sumber: Sasse, 2009)

Keterangan:

$$A17 = IF (L11 < 0.5; 1.06 ; IF (L11 < 0.75; (L11 - 0.5) \times 0.065 / 0.25 + 1.06; IF(L11 < 0.85; 1.125 - (L11 - 0.75) \times 0.1 / 0.1; 1.025)))$$

Dimana: A17 = rasio penyisihan BOD/COD

L11 = presentase penyisihan COD pada bak  
pengendap + AF

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.6 tentang Grafik  
hubungan efisiensi removal BOD dan COD



$$B17 = L11 \times A17$$

Dimana:      B17 = presentase penyisihan BOD<sub>5</sub> pada bak pengendap + AF  
                  L11 = presentase penyisihan COD pada bak pengendap + AF  
                  A17= rasio penyisihan BOD/COD

$$C17 = (1 - B17) \times E5$$

Dimana:      C17 = konsentrasi efluen BOD<sub>5</sub> pada unit AF  
                  B17 = presentase penyisihan BOD<sub>5</sub> pada bak pengendap + AF  
                  E5= konsentrasi influen BOD<sub>5</sub> (mg/l)

$$F17 = \frac{2}{3} \times K17 / D17 / E17$$

Dimana:      F17 = panjang kompartemen pertama hasil perhitungan (m)  
                  K17 = volume bak pengendap termasuk ruang lumpur (m<sup>3</sup>)  
                  D17 = lebar bak pengendap (m)  
                  E17 = min ketinggian air pada inlet (m)

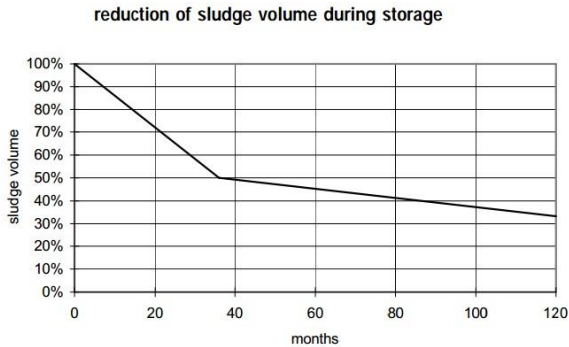
$$H17 = F17 / 2$$

Dimana:      H17 = panjang kompartemen kedua hasil perhitungan (m)  
                  F17 = panjang kompartemen pertama (m)

$$J17 = 0.005 \times IF \left( (I5 < 36; 1 - I5 \times 0.014; IF (I5 < 120; 0.5 - (I5 - 36) \times 0.002; 1/3) \right)$$

Dimana:      J17 = akumulasi lumpur (l/kg BOD)  
                  I5 = waktu pengurasan lumpur (bulan)

Persamaan tersebut berkaitan dengan Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Grafik Reduksi Lumpur dengan Masa Simpan  
(Sumber: Sasse, 1998)

$$K17 = \text{IF}(\text{OR}(K5 > 0; J5 > 0); \text{IF}(J17 \times (E5 - B11) / 1000 \times I5 \times 30 \times A5 + H5 \times C5 < 2 \times H5 \times C5; 2 \times H5 \times C5; J17 \times (E5 - B11) / 1000 \times I5 \times 30 \times A5 + H5 \times C5); 0)$$

Dimana: K17 = volume bak pengendap termasuk ruang lumpur (m<sup>3</sup>)

Persamaan di atas mempertimbangkan jika volume lumpur kurang dari setengah volume total, maka pengendap dapat dihilangkan

$$L17 = (G17 + I17) \times E17 \times D17$$

Dimana: L17 = volume aktual bak pengendap (m<sup>3</sup>)

G17= panjang kompartemen pertama yang dipilih (m)

I17 = panjang kompartemen kedua yang dipilih (m)

E17 = min ketinggian air pada inlet (m)

D17 = lebar bak pengendap (m)

4.) Hitung dimensi *anaerobic filter* dengan membuat spread sheet seperti Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Data Perhitungan Dimensi *Anaerobic Filter*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
19	dimension of an aerobic filter							bio gas production			check!	
20	volume of filter tanks	depth of filter tanks	length of each tank	number of filter tanks	width of filter tanks	space below perforated slabs	filter high (top 40cm below water-level)	out of septic tank	out of anaerobic filter	total	org. load on filter volume COD	max. up-flow velocity inside filter voids
21	calcul.	chosen	calcul.	chosen	requir.	chosen	calcul.	assump.: 70% CH <sub>4</sub> ; 50% dissolved			calcul.	calcul.
22	m <sup>3</sup>	m	m	No.	m	m	m	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /d	kg/m <sup>3</sup> d	m/h
23	31.25	2.25	2.25	3	2.69	0.60	1.20	0.97	2.10	3.07	1.57	0.98
24	max.11										< 4.5	<2.0

(Sumber: Sasse, 2009)

Keterangan:

$$A23 = E11 \times A5 / 24$$

Dimana: A23 = volume unit AF (m<sup>3</sup>)  
E11 = waktu tinggal pada unit AF (hari)  
A5 = Q<sub>ave</sub>/hari air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

$$C23 = B23$$

Dimana: C23 = panjang tiap kompartemen pada unit AF (m)  
B23= kedalaman AF (m)

$$E23 = A23 / D23 / ((B23 \times 0.25) + (C23 \times (B23 - G23 \times (1 - D11))))$$

Dimana: E23 = lebar AF (m)  
A23 = volume unit AF (m<sup>3</sup>)  
D23 = jumlah kompartemen  
B23 = kedalaman AF (m)  
C23 = panjang tiap kompartemen pada unit AF (m)  
G23 = ketinggian media filter (berjarak 40 cm dibawah permukaan air)  
D11 = presentase massa kosong filter

$$G23 = B23 - F23 - 0.4 - 0.05$$

Dimana: G23 = ketinggian media filter (berjarak 40 cm dibawah permukaan air)  
B23 = kedalaman AF (m)  
F23 = jarak media filter dengan dasar bak (m)

$$H23 = (D5 - A11) \times A5 \times 0.35 / 1000 / 0.7 \times 0.5$$

Dimana:  $H23$  = gas yang terbentuk dari bak pengendap ( $m^3/hari$ )  
 $D5$  = konsentrasi influen COD ( $mg/l$ )  
 $A5$  =  $Q_{ave}/hari$  air limbah ( $m^3/hari$ )  
 $A11$  = konsentrasi influen COD pada unit AF ( $mg/l$ )

Metana diproduksi dari setiap kilogram COD yang diremoval.

$$I23 = (A11 - K11) \times A5 \times 0.35 / 1000 / 0.7 \times 0.5$$

Dimana:  $I23$  = gas yang terbentuk dari unit AF ( $m^3/hari$ )  
 $A11$  = konsentrasi influen COD pada unit AF ( $mg/l$ )  
 $K11$  = konsentrasi efluen COD pada unit AF ( $mg/l$ )  
 $A5$  =  $Q_{ave}/hari$  air limbah ( $m^3/hari$ )

Metana diproduksi dari setiap kilogram COD yang diremoval.

$$J23 = SUM (H23 : I23)$$

Dimana:  $J23$  = total gas yang terbentuk ( $m^3/hari$ )

$$K23 = A11 \times A5 / 1000 / (G23 \times E23 \times C23 \times D11 \times D23)$$

Dimana:  $K23$  = beban organik pada unit AF ( $<4,5$  Kg COD/ $m^3.hari$ )  
 $A11$  = konsentrasi influen COD pada unit AF ( $mg/l$ )  
 $A5$  =  $Q_{ave}/hari$  air limbah ( $m^3/hari$ )  
 $G23$  = ketinggian media filter (berjarak 40 cm dibawah permukaan air)  
 $E23$  = lebar AF (m)  
 $C23$  = panjang tiap kompartemen pada unit AF (m)  
 $D11$  = presentase massa kosong filter  
 $D23$  = jumlah kompartemen

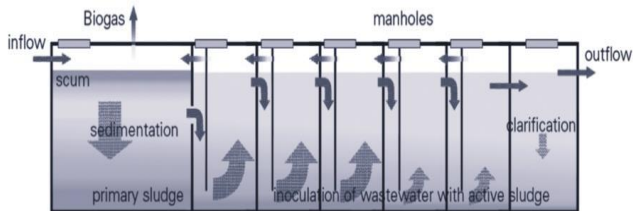
$$L23 = C5 / (E23 \times C23 \times D11)$$

Dimana:  $L_{23}$  = maks kecepatan aliran ke atas pada AF ( $<2$  m/jam)  
 $C_5 = Q_{\text{peak}}$ /jam air limbah ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )  
 $E_{23}$  = lebar AF (m)  
 $C_{23}$  = panjang tiap kompartemen pada unit AF (m)  
 $D_{11}$  = presentase massa kosong filter

### 2.3 **Anaerobic Baffled Reactor**

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) adalah Bak Pengendap yang dimodifikasi dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan padatan terlarut dan tidak mengendap (Morel dan Dinier, 2006). ABR dalam skala laboratorium ditemukan sebagai proses pengolahan anaerobik yang efektif oleh Bachmann pada tahun 1983 (Grobicki dan Stuckey, 1991). Proses ini menggunakan serangkaian sekat vertikal untuk memaksa limbah mengalir ke bawah dan melewati sekatnya (Bachmann *et al.*, 1984). Bakteri pada reaktor ini berkembang dan mengendap dengan memproduksi gas pada setiap kompartemen (Boopathy dan Tilche, 1990).

ABR terdiri atas sebuah tangki septic, dan sekat tegak yang terpasang dalam kompartemen dan aliran air bergerak secara naik-turun dari satu kompartemen ke kompartemen lain, dengan cara ini maka air limbah dipertemukan dengan sisa lumpur yang mengandung mikroorganisme yang berfungsi menguraikan polutan dalam kondisi *anaerobic*. Desain ABR menjamin masa tinggal air limbah yang lebih lama sehingga menghasilkan pengolahan dengan kualitas tinggi dan kadar lumpur yang dihasilkan rendah (Foxon *et al.*, 2004).



**Gambar 2. 12** Penampang Membujur Unit ABR  
 (Sumber: Sasse *et al.*, 2009)

Zona pengendapan pada ABR digunakan untuk mengendapkan padatan yang besar sebelum melewati kompartemen selanjutnya. Antara kompartemen, air mengalir ke bawah disebabkan oleh dinding penyekat atau pipa yang mengarah ke bawah. ABR terdiri dari kelompok mikroorganisme yang berbeda-beda. Kelompok pertama adalah *acidogenic bacteria* yang menghidrolisis ikatan polimer kompleks menjadi *organic acids*, alkohol, gula, hidrogen, dan karbon dioksida. Kelompok kedua adalah bakteri yang memproduksi hidrogen dengan mengkonversi hasil fermentasi dari beberapa bagian (hidrolisis dan asidogenesis) menjadi asam asetat dan karbon dioksida. Kelompok ketiga bakteri metanogenesis yang mengkonversi senyawa sederhana seperti asam asetat, methanol, karbon dioksida, dan hidrogen menjadi metan (Nguyen *et al.*, 2010).

Pencegahan masuknya *scum* yang terbentuk di aliran *flow-up* dilakukan dengan outlet dari masing-masing tangki diletakkan sedikit dibawah muka air (Sasse *et al.*, 2009). Hal yang paling menguntungkan dari ABR adalah kemampuan untuk membagi proses asidogenesis dan metanogenesis pada reaktor, yang mana memungkinkan berbagai macam kelompok bakteri berkembang biak pada kondisi favoritnya (Barber, 1999). ABR ini efektif untuk meremoval material organik dan padatan yang tersuspensi, namun tidak efektif untuk meremoval nitrogen, fosfor, dan bakteri patogen (Angenent, 2001).

Perawatan pada unit ABR cukup mudah. Tangki ABR diharuskan untuk dicek ketinggian *scum* dan lumpur agar ABR ini berfungsi dengan baik. Lumpur pada ABR diambil menggunakan tangki penghisap, interval pengambilan lumpur dapat diatur sewaktu mendesain ABR. Keunggulan sistem *anaerobic* ini menghasilkan metana yang mana dapat dibuat sebagai biogas. Produksi biogas pada ABR sekitar 60-70% metana dan 30-40% karbon dioksida. Sisanya berupa gas hidrogen, hidrogen sulfida, ammonia, uap air, dan gas lainnya (Droste, 1997). Biogas yang dihasilkan adalah gas yang dapat digunakan untuk banyak hal. Produk sampingan lain dari ABR ini adalah lumpur. Beberapa kasus yang pernah ada menginovasi lumpur untuk di resirkulasi, tetapi ini mengurangi efisiensi removal ABR itu sendiri (Barber, 1999). Perencanaan ABR ini

membutuhkan kriteria desain. Kriteria desain unit ABR dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Aksesoris tambahan dari ABR ini adalah pipa ven. Pipa ven adalah pipa untuk mengalirkan atau mengeluarkan gas-gas yang dihasilkan dari hasil proses anaerobik. *Branch* adalah pipa horizontal dan *stack* adalah pipa tegak. Pipa ven adalah bagian yang penting dari sistem pembuangan. Tujuan dari pemasangan pipa ven adalah mensirkulasi udara dalam proses pembuangan, menjaga kedalaman air agar sesuai dengan yang direncanakan, dan menjaga sekat perangkat dari efek sifon atau tekanan.

**Tabel 2.6** Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

No	Parameter	Nilai
1	HRT	> 8 jam
2	Panjang <i>baffle</i>	50 - 60% dari ketinggian
3	<i>Upflow velocity</i>	< 2 m/jam
4	Removal BOD	70 - 95%
5	Removal COD	65 - 90%
6	Organic Loading	< 3 kg COD/m <sup>3</sup> .hari

(sumber: Tchobanoglous et al., 2003; Sasse, 2009)

### **Perhitungan Dimensi *Anaerobic Baffled Reactor***

#### **Cara menghitung dimensi *Anaerobic Baffled Reaktor***

Langkah – langkah untuk menghitung dimensi ABR adalah sebagai berikut:

a. Buatlah perhitungan data menggunakan spreadsheet seperti dibawah ini

**Tabel 2.7** Data General untuk Perhitungan Dimensi ABR

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	General spread sheet for baffled septic tank with integrated settler										
2	daily waste water flow	time of most waste water flow	max peak flow per hour	COD inflow	BOD <sub>5</sub> inflow	COD/BOD ratio	settleable SS / COD ratio	lowest digester temp.	de-sludging interval	HRT in settler (no settler HRT = 0)	COD removal rate in settler
3	avg.	given	max.	given	given	calcul.	given	given	chosen	chosen	calcul.
4	m <sup>3</sup> /day	h	m <sup>3</sup> /h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	months	h	%
5	25	12	2,08	633	333	1,90	0,42	25	18	1,50	23%
6	COD/BOD <sub>5</sub> →				0,35-0,45				1,5 h		

(Sumber : Sasse,1998)

Keterangan:

$C5 = A5/B5$

$F5 = D5/E5$

$K5 = G5/0,6 * IF(J5 < 1; J5 * 0,3; IF(J5 < 3; (J5 - 1) * 0,1/2 + 0,3; IF(J5 < 30; (J5 - 30) * 0,15/27 + 0,4; 0,55)))$

Nilai 0,6 didapatkan dari praktek di lapangan. Nilai removal COD berdasarkan pada Gambar 2.5 tentang Grafik CODrem pada *septic tank*.

b. Hitunglah data pengolahan seperti spreadsheet dibawah ini.

**Tabel 2.8** Data Pengolahan ABR

7	treatment data										
	BOD <sub>5</sub> removal rate in settler	inflow into baffled reactor		COD / BOD <sub>5</sub> ratio after settler	factors to calculate COD removal rate of baffled reactor			COD rem, 25°, COD 1500	theor. rem rate acc. to factors	COD rem.rate baffle only	COD out
8	calcul.	COD	BOD <sub>5</sub>	calcul.	calculated according to graphs			calcul.	calcul.	calcul.	
10	%	mg/l	mg/l	mg/l/mg/l	f-overload	f-strength	f-temp	f-HRT	%	%	mg/l
11	24%	489	253	1,94	1,00	0,84	1,00	1,02%	0,84	72	70
12	1,06	←COD/BOD rem factor				COD / BOD removal factor→				1,085	

(Sumber : Sasse,1998)

Keterangan :

$A11 = K5 * A12$

$B11 = D5 * (1 - K5)$

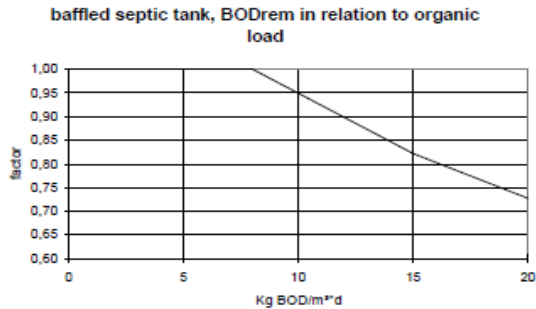
$C11 = E5 * (1 - A11)$

$D11 = B11 / C11$

$E11 = IF(J23 < 6; 1; 1 - (J23 - 6) * 0,28/14)$

Hubungan antara removal BOD dengan *organic loading* dapat dilihat pada grafik berikut.

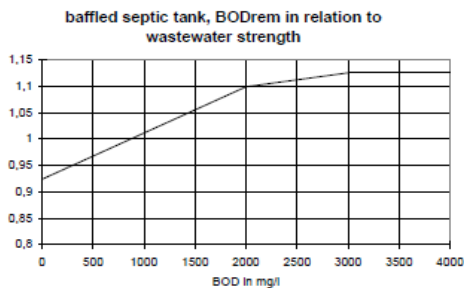




**Gambar 2.13** Removal BOD Disebabkan oleh Organic Loading yang Berlebih dalam Baffled Tank  
(Sumber : Sasse,1998)

$$F11 = \text{IF}(C11 < 150; C11 * 0,37150 + 0,4; \text{IF}(C11 < 300; (C11 - 150) * 0,1 / 150 + 0,77; \text{IF}(C11 < 500; (C11 - 300) * 0,08 / 200 + 0,87; \text{IF}(C11 < 1000; (C11 - 500) * 0,1 / 500 + 0,95; \text{IF}(C11 < 3000; (C11 - 1000) * 0,1 / 2000 + 1,05; 1,15)))$$

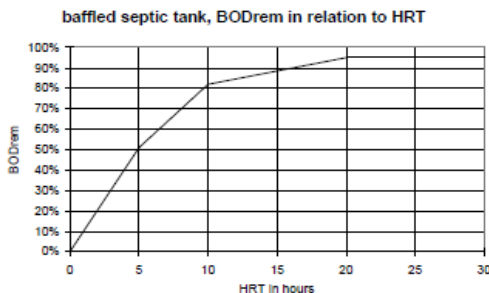
Hubungan antara removal BOD dengan konsentrasi BOD dapat dilihat pada grafik berikut.



**Gambar 2.14** Grafik hubungan antara BOD removal dengan konsentrasi BOD pada ABR  
(Sumber : Sasse,1998)

$$H11 = \text{IF}(J17 = 1; 0,4; \text{IF}(J17 = 24; 0,7; \text{IF}(J17 = 3; 0,9; (J173) * 0,06 + 0,9)))$$

Persamaan ini berhubungan dengan grafik berikut.



**Gambar 2.15** Hubungan antara removal BOD dengan HRT.  
(Sumber : Sasse,1998)

$$J9 = E11 * F11 * G11 * H11 * I11$$

$$J11 = IF(J9 < 0,8; J9; IF(J9(10,37((J9)0,8)) < 0,95; J9 * (10,37((J9) - 0,8)); 0,95))$$

Persamaan ini membatasi nilai BOD removal yang tidak realistis.

$$K11 = (1 - J11) * C11$$

$$A12 = IF(K5 < 0,5; 1,06; IF(K5 < 0,75; (K5 - 0,75)(K5 - 0,5) * 0,065 / 0,25 + 1,06; IF(K5 < 0,85; 1,125 - (K5 - 0,75) * 0,1 / 0,1; 1,025)))$$

Persamaan ini berkaitan dengan Gambar 2.6 tentang Grafik hubungan efisiensi removal BOD dan COD.

$$K12 = IF(A17 < 0,5; 1,06; IF(A17 < 0,75; (A17 - 0,5) * 0,065 / 0,25 + 1,06; IF(A17 < 0,85; 1,125 - (A17 - 0,75) * 0,1 / 0,1; 1,025)))$$

Persamaan diatas berkaitan dengan Gambar 2.6 tentang Grafik hubungan efisiensi removal BOD dan COD.

c. Hitung dimensi bak pengendap dan bak ABR dengan membuat spreadsheet seperti berikut.

**Tabel 2.10** Data Perhitungan Dimensi ABR

13	dimensions of settler							baffled septic tank			
14	total COD rem. rate	total BOD <sub>5</sub> rem. rate	BOD <sub>5</sub> out	inner masonry measurements chosen acc. to required volume		sludge accum. rate	length of settler	length of settler	max upflow velocity	number of upflow chambers	depth at outlet
15	calcul.	calcul.	calcul.	width	depth	calcul.	calcul.	chosen	chosen	chosen	chosen
16	%	%	mg/l	m	m	l/g COD	m <sup>3</sup>	m	m/h	No.	m
17	79%	63%	172	2,00	1,50n	0,0037	2,39	2,40	1,8	5	1,50
18									1,4-2,0 m/h		
19	dimensions of baffled septic tank							status and gp			
20	length of chambers <i>should not exceed half depth</i>		area of single upflow chamber	width of chambers		actual upflow velocity	width of downflow shaft	actual volume of baffled reactor	actual total HRT	org. load (BOD <sub>5</sub> )	biogas (ass. CH <sub>4</sub> 70%; 50% dissolved)
21	calcul.	chosen	calcul.	calcul.	chosen	calcul.	chosen	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
22	m	m	m <sup>2</sup>	m	m	m/h	m	m <sup>3</sup>	h	kg/m <sup>3</sup> *d	m <sup>3</sup> /d
23	0,75	0,75	1,16	1,54	2,00	1,39	0,25	15,00	14	0,84	3,52
24	HRT reduced by 5% for sludge										

(Sumber : Sasse,1998)

$$\begin{aligned}
 A17 &= 1-K11/E5 \\
 B17 &= A17*K12 \\
 C17 &= (1-B17)*D5 \\
 F17 &= 0,005*IF(I5<36;1-I5*0,014;IF(I5<120;0,5-(I5-36)*0,002;1/3))
 \end{aligned}$$

Persamaan diatas berhubungan dengan Gambar 2.11 tentang grafik reduksi lumpur dengan masa simpan.

$$G17 = IF(A11>0;IF(F17*(E5C11)/1000*30*I5*A5+J5*C5<2*J5*C5;2*J5*C5;F17*(E5C11)/1000*30*I5*A5+J5*C5);0)/D17/E17$$

$$A23 = K17*0,5$$

$$C23 = C5/I17$$

$$D23 = C23/B23$$

$$F23 = C5/B23/E23$$

$$H23 = (G23+B23)*J17*K17*E23$$

$$I23 = H23/(A5/24)/105\%$$

$$J23 = C11*C5*24/H23/1000$$

$$K23 = (D5-K11)*A5*0,35/1000/0,7*0,5$$

350 l metana diproduksi dari setiap kilogram COD yang diremoval.

## 2.4 Aksesoris Tambahan Unit Instalasi

### A. Pompa

Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi. Sedangkan pemompaan didefinisikan sebagai penambahan energi untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi atau dari tekanan rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Prinsip pemindahan zat cair ini berdasarkan perubahan tekanan kerja yang diberikan oleh pompa tersebut pada zat cair yang dipindahkan. Tekanan kerja yang diberikan oleh pompa akan digunakan untuk:

- 1) Mengatasi kerugian tekanan pada pompa dan sistemnya
- 2) Mengatasi tekanan atmosfer
- 3) Mengatasi tekanan kerja pada tempat yang akan dituju zat cair tersebut.

Head pompa adalah energi per satuan berat yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah zat cair yang direncanakan sesuai dengan kondisi instalasi pompa, atau tekanan untuk mengalirkan sejumlah zat cair, yang umumnya dinyatakan dalam satuan panjang.

$$\text{Head}_{\text{sistem}} = H_{f_{\text{mayor}}} + H_{f_{\text{minor}}} \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\text{Head}_{\text{sistem}}$  = Kehilangan tekanan pada sistem pemompaan (m)

$H_{f_{\text{mayor}}}$  = Kerugian gesek dalam pipa (m)

$H_{f_{\text{minor}}}$  = Kerugian gesek akibat aksesoris pipa (m)

$$H_{f_{\text{mayor}}} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \quad (2.9)$$

Keterangan:

$H_{f_{\text{mayor}}}$  = Kerugian gesek dalam pipa (m)

$Q$  = Debit air yang dipompa (L/detik)

$C$  = Koefisien gesek

D = Diameter Pipa (mm)  
 L = Panjang Pipa (m)

$$H_{f_{\text{minor}}} = k \times \left( \frac{v^2}{2 \times g} \right) \quad (2.10)$$

Keterangan:

$H_{f_{\text{minor}}}$  = Kerugian gesek akibat aksesoris pipa (m)  
 k = Koefisien jenis aksesoris  
 v = Kecepatan rata – rata aliran (m/s)  
 g = Percepatan gravitasi

$$\text{Head}_{\text{system}} = H_{f_{\text{mayor}}} + H_{f_{\text{minor}}} + H_{\text{statis}} \quad (2.11)$$

### B. Pipa penghubung antar bangunan

Proses mengalirkan air limbah menggunakan pipa penghubung dari alat plambing ke instalasi pengolah air limbah. Pipa penghubung direncanakan menggunakan bahan PVC.

Penentuan diameter pipa menggunakan rumus berikut:

$$A = \frac{Q_{\text{peak}}}{V} \quad (2.12)$$

Dimana :

A = Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)  
 Q<sub>peak</sub> = Debit (m<sup>3</sup>/s)  
 V = Kecepatan (m/s)

### C. Pipa ven

Pipa ven adalah pipa yang digunakan untuk mengalirkan gas-gas yang dihasilkan dari hasil pembusukan. Branch adalah pipa horizontal dan stack adalah pipa tegak.pipa ven adalah bagian yang penting dari sistem pembuangan. Tujuan dari pemasangan pipa ven adalah:

- 1) Menjaga sekat perangkap dari efek sifon atau tekanan
- 2) Menjaga sirkulasi yang lancar dalam pipa pembuangan
- 3) Mensirkulasi udara dalam proses pembuangan.

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**

## BAB 3

### Metodologi Perencanaan

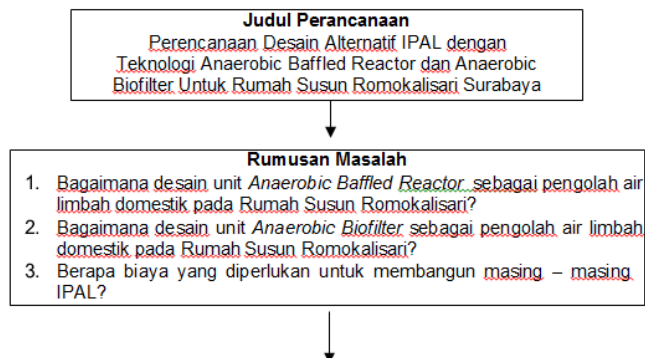
#### 3.1 Umum

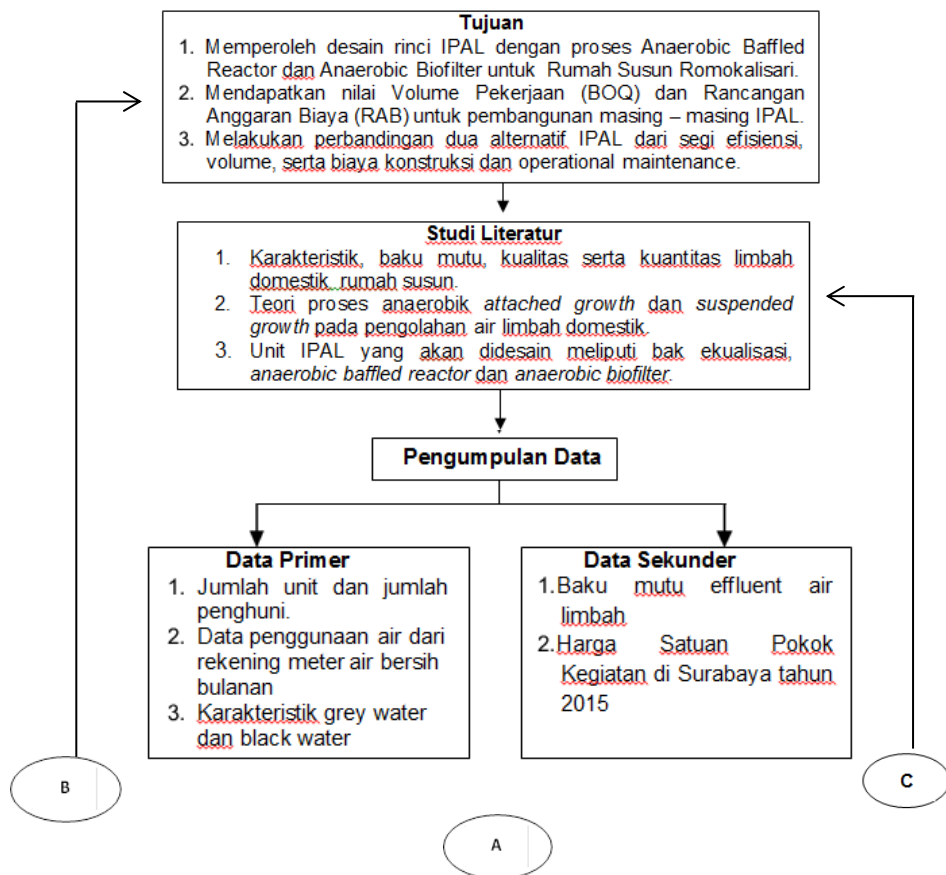
Metode perencanaan berisi tentang cara dan acuan kerja yang nantinya akan diaplikasikan saat pelaksanaan tugas akhir. Metode ini mencakup seluruh kegiatan dan tahapan yang akan dilaksanakan mulai dari awal hingga akhir perencanaan seperti ide perencanaan, identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan data, perencanaan unit pengolahan limbah, pembuatan laporan serta kesimpulan dan saran. Dengan adanya metode ini diharapkan dapat menghasilkan perencanaan yang baik dan sistematis.

##### 3.1.1 Tahapan Perencanaan

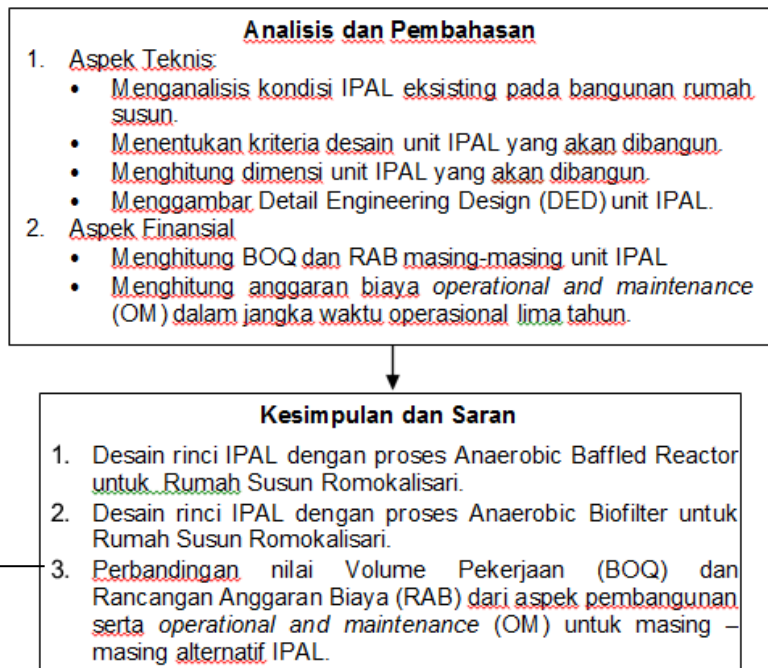
Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah dilakukan dengan merancang desain alternatif antara teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter*. Metode perencanaan perlu disusun sebagai pedoman dalam menjalankan perencanaan dari ide perencanaan sampai mencapai tujuan yang diinginkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui keperluan selama proses desain.

Tahapan ini nantinya sebagai alur desain yang akan dilakukan agar mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan yang akan dicapai. Tahapan ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.









**Gambar 3.1** Diagram Kerangka Perencanaan

### 3.2 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan (Gambar 3.1) berfungsi untuk memudahkan dalam berfikir dan melakukan perencanaan sesuai dengan tahapan yang telah dibuat. Dengan demikian diharapkan dapat menghasilkan perencanaan yang baik dan terintegrasi. Dalam Kerangka perencanaan terdapat beberapa tahapan perencanaan, diantaranya:

#### 1) Ide Perencanaan

Ide perencanaan berasal dari masalah serta kondisi eksisting yang ada dari suatu objek. Pada tugas akhir ini ide dari perencanaan adalah “Perencanaan Desain Alternatif IPAL

dengan Teknologi *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter* Untuk Rumah Susun Romokalisari Surabaya.”. Ide tersebut muncul dilatar belakangi oleh maraknya perumahan vertikal disebabkan keterbatasan lahan pada daerah perkotaan sehingga harus dilakukan pengolahan limbah cair yang efisien. Dengan adanya perencanaan ini, diharapkan dapat mengurangi permasalahan air limbah domestik di lingkungan rumah susun sehingga tidak mencemari lingkungan sekitar.

## **2) Rumusan Masalah**

Sebelum melakukan perencanaan, perlu dirumuskan terlebih dahulu masalah yang menjadi latar belakang dari perencanaan. Permasalahan tersebut nantinya akan dijawab dengan solusi yang tepat yang dirumuskan dalam tujuan perencanaan. Adapun rumusan masalah pada perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana desain unit *Anaerobic Baffled Reactor* sebagai pengolah air limbah domestik pada Rumah Susun Romokalisari?
2. Bagaimana desain unit *Anaerobic Filter* sebagai pengolah air limbah domestik pada Rumah Susun Romokalisari?
3. Berapa biaya yang diperlukan untuk membangun masing – masing IPAL?

## **3) Studi Literatur**

Studi Literatur merupakan teori yang menjadi dasar yang dapat mendukung perencanaan yang akan dilakukan. Sumber yang digunakan dalam studi literatur dapat diperoleh dari buku, jurnal, makalah seminar, skripsi, thesis dan sumber lain yang dapat dipertanggungjawabkan isinya. Dalam perencanaan ini, literatur yang dikaji meliputi pengetahuan dasar tentang air limbah domestik, perencanaan sistem penyaluran air limbah, perencanaan instalasi pengolahan air limbah dan standar baku mutu yang digunakan untuk evaluasi sistem. Beberapa poin penting yang akan dipelajari di dalam literatur adalah:

- a. Karakteristik, baku mutu, kualitas serta kuantitas limbah domestik rumah susun.
- b. Teori proses anaerobik *attached growth* dan *suspended growth* pada pengolahan air limbah domestik.

- c. Kriteria desain dan perhitungan dimensi unit IPAL yang akan didesain meliputi bak ekualisasi, *anaerobic Baffled Reactor* dan *Anaerobic Filter*. Perhitungan juga termasuk unit pelengkap seperti pipa, pompa, dan media mikroorganisme.

#### 4) Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam perencanaan meliputi data primer dan data sekunder. Adapun data primer yang dibutuhkan adalah:

1. Kualitas dan kuantitas air Limbah di Rumah Susun Romokalisari  
Data ini bisa didapatkan melalui analisis laboratorium. Adapun langkah analisis laboratorium adalah sebagai berikut:
  - a. Pengambilan sampel air limbah dilakukan di 3 titik, diantaranya: *inlet* tangki septik (1 titik), *effluent* dari tangki septik (1 titik), dan saluran *grey water* (1 titik).
  - b. Pengambilan sampel dilakukan pada saat jam puncak.
  - c. Analisis sampel menggunakan standar dari APHA AWWA *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater* tahun 1999.
2. Debit air buangan dari pemakaian air bersih  
Data ini bisa didapatkan dari data pemakaian air bersih rumah susun.
3. Kondisi rencana lahan IPAL dan lokasi perencanaan  
Data ini bisa didapatkan melalui wawancara dan pengukuran terhadap lahan. Selain itu, dilakukan dengan cara pengukuran menggunakan GPS untuk mengetahui ketinggian lokasi.

Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dalam perencanaan ini meliputi:

1. Data penggunaan air  
Data ini bisa didapatkan di PDAM Surabaya atau Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah.
2. Baku mutu air limbah domestik

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013

3. Harga Satuan Pokok Kegiatan Kota Surabaya Tahun 2015

## 5) Analisis Data dan Pembahasan

Data yang telah dikumpulkan akan diolah yang nantinya akan dibahas dalam tugas akhir ini. Adapun analisis data dan pengolahan yang dilakukan meliputi:

### 1. Aspek Teknis

- a. Menganalisis kondisi IPAL eksisting pada bangunan rumah susun.

Aspek yang akan dianalisis seperti debit dan effluen limbah, sistem penyaluran dan efisiensi pengolahan. IPAL yang sudah ada di rumah susun Romokalisari berupa unit tangki septik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa baik performa tangki septik yang sudah ada sebagai acuan kualitas air limbah yang akan masuk ke dalam unit IPAL yang akan direncanakan.

- b. Menentukan kriteria desain unit IPAL yang akan dibangun

- *Anaerobic Filter*

Kriteria desain untuk *Anaerobic Filter* meliputi:

- Organik loading : 4 – 5 Kg COD / m<sup>3</sup>.hari
- HRT di tangki septik : 2 jam
- HRT di *Anaerobic Filter* : 24 - 48 jam
- BOD removal : 70 - 90%
- Rasio SS/COD : 0,35 - 0,45
- Luas spesifik media : 80 - 180 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- Massa kosong filter : 30 - 45%
- *Velocity upflow* : < 2 m/jam

(Sumber: Sasse, 1998)

- *Anaerobic Baffled Reactor*

Kriteria desain untuk *Anaerobic Baffled Reactor* meliputi:

- HRT di bak pengendap : 2 jam

- *Velocity Upflow* : 1,4 – 2 m/jam
  - Panjang Kompartemen : < 50% - 60% dari tingginya
  - Organic Loading : < 5 Kg COD/m<sup>3</sup>.hari
  - HRT : ≥ 8 jam
  - Rasio SS/COD : 0,35 – 0,45
- (Sumber: Tchobanoglous *et al.*, 2003)

- c. Menghitung dimensi unit bak ekualisasi, bak pengendap, *anaerobic filter*, dan *Anaerobic Baffled Reactor* berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya dan menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*.
  - d. Menggambar *Detail Engineering Design* (DED) masing - masing unit IPAL yang akan dibangun meliputi bak ekualisasi, bak pengendap, *anaerobic filter*, dan *Anaerobic Baffled Reactor* beserta aksesoris pelengkap berdasarkan data hasil perhitungan dengan menggunakan program *AutoCAD 2007*.
2. Aspek Finansial
- a. Menghitung BOQ (*Bill Of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) berdasarkan gambar DED yang telah dibuat, SNI tentang pekerjaan bangunan gedung serta HSPK kota Surabaya tahun 2015 menggunakan program *Microsoft Excel*.
  - b. Menghitung anggaran biaya *operational and maintenance* (OM) dalam jangka waktu operasional lima tahun.

## 6) Pembuatan Laporan

Merupakan penyusunan hasil perencanaan sesuai dengan studi literatur dan data yang diperoleh, mulai dari awal hingga akhir perencanaan.

## **7) Kesimpulan dan Saran**

Kesimpulan dan saran didapatkan dari hasil analisis perencanaan yang telah dilakukan. Kesimpulan merupakan jawaban atas tujuan yang ingin dicapai dan hasil perencanaan yang telah dibuat. Sedangkan saran merupakan masukan yang dapat membangun dan menyempurnakan tugas akhir yang telah dibuat. Kesimpulan tugas akhir perencanaan ini akan meliputi beberapa hal sebagai berikut:

1. Desain rinci IPAL dengan proses Anaerobic Baffled Reactor untuk Rumah Susun Romokalisari.
2. Desain rinci IPAL dengan proses Anaerobic Filter untuk Rumah Susun Romokalisari.
3. Nilai Volume Pekerjaan (BOQ) dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) untuk pembangunan masing – masing IPAL.
4. Perbandingan kedua alternatif IPAL dari segi volume, efisiensi removal, biaya konstruksi dan OM.

## **BAB IV**

### **Gambaran Umum Perencanaan**

#### **4.1 Gambaran Umum Gedung Perencanaan**

Rumah susun Romokalisari terletak di Kelurahan Romokalisari Kecamatan Benowo. Rumah susun Romokalisari terdiri dari gedung A, B, C, D, dan E. Semua gedung memiliki desain yang hampir sama. Masing-masing terdiri dari 4 lantai dengan total 99 unit dan unit dari masing-masing lantai adalah :

1. Lantai 1 : 3 unit
2. Lantai 2 : 24 unit
3. Lantai 3 : 24 unit
4. Lantai 4 : 24 unit
5. Lantai 5 : 24 unit

Gedung A dan B sudah dihuni sedangkan gedung C, D, dan E masih dalam tahap pembangunan. Jumlah penghuni pada rumah susun Romokalisari gedung A dan B adalah:

1. Gedung A : 304 jiwa
2. Gedung B : 319 jiwa



**Gambar 4.1 Tampak atas rumah susun Romokalisari.**

#### 4.2 Sistem Pengolahan Air Limbah

Rumah susun Romokalisari setiap unitnya telah terdapat fasilitas berupa kamar mandi. Rumah susun ini belum tersambung dengan jaringan pipa PDAM, sehingga untuk suplai air bersih berasal dari truk-truk pengangkut air bersih dari PDAM yang datang setiap hari. *Grey water* pada Romokalisari hanya diolah pada grease trap portable yang ada di setiap unit kamar lalu disalurkan langsung ke saluran drainase di sekeliling gedung yang nantinya mengalir menuju badan air. *Black water* disalurkan ke tangki septik. Tangki septik terdapat satu unit setiap blok. Setelah *black water* menuju tangki septik kemudian dialirkan menuju sumur resapan yang nantinya *effluent* dibiarkan meresap ke dalam tanah di sekitar rumah susun. Lahan kosong untuk nantinya dimungkinkan dalam peletakan IPAL tambahan sekitar 500 m<sup>2</sup>.



**Gambar 4.2 Skema Eksisting Pengolahan Air Limbah**



## **BAB 5**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Perhitungan debit dan kualitas air limbah**

Perhitungan debit dan kualitas air limbah digunakan untuk menentukan influen yang akan masuk ke dalam IPAL karena hal ini akan mempengaruhi volume IPAL yang dibutuhkan. Data yang dipakai untuk menghitung debit dan kualitas air limbah berasal dari data primer maupun data sekunder.

##### **5.1.1 Perhitungan debit air limbah**

Perhitungan debit air limbah didasarkan pada debit air bersih. Data penggunaan air bersih didapatkan dari data penggunaan air bulanan Rumah Susun Romokalisari yaitu pada bulan Februari 2016. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya, kebutuhan air bersih rata-rata selama Februari 2016 adalah  $0,167 \text{ m}^3/\text{orang.hari}$ . Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung debit air limbah yang dihasilkan yaitu 70% dari debit air bersih.

$$\begin{aligned}\text{Debit rata-rata air limbah} &= 70\% \times 0,167 \text{ m}^3/\text{orang.hari} \\ &= 0,117 \text{ m}^3/\text{orang.hari}\end{aligned}$$

##### **5.1.2 Kualitas dan baku mutu air limbah**

Data kualitas air limbah didapatkan dari data primer dan data sekunder. Untuk data kualitas black water didapatkan dari sampling langsung di effluent tangki septik rumah susun lalu sampel tersebut dianalisa di laboratorium. Sedangkan untuk kualitas grey water didapat dari data sekunder kualitas air limbah rumah susun pada penelitian sebelumnya dikarenakan keadaan lapangan yang tidak memungkinkan untuk mengambil sampel. Berikut ini adalah data kualitas air limbah yang didapatkan.

- Black Water:
  - COD = 905 mg/L
  - BOD = 560 mg/L
  - TSS = 970 mg/L

(Sumber: Analisa Laboratorium)

- Grey Water:

- COD = 164 mg/L
- BOD = 105 mg/L
- TSS = 132 mg/L

(Sumber: Saifulloh, 2015)

## 5.2 Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah

Perencanaan sistem penyaluran air limbah ini nantinya akan menyalurkan antara air limbah *grey water* dan *black water* secara terpisah. Pipa *grey water* nantinya akan menyalurkan *grey water* dari pipa eksisting menuju ke bak ekualisasi, untuk pipa *black water* menyadap pipa eksisting dari effluent tangki septik sebelum pipa *black water* tersebut menuju ke resapan dan nantinya disalurkan pula ke bak ekualisasi.

Sistem yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sistem *small bore sewer*. Sistem ini dipilih karena sudah ada tangki septik eksisting yang memisahkan padatan dalam air buangan sehingga air buangan yang dialirkan hanya berupa cairan. Hal ini menyebabkan sistem dapat berjalan dengan slope yang landai dan diameter pipa yang tidak terlalu besar.

### A. Perhitungan Diameter Pipa

Perhitungan diameter pipa air limbah dibutuhkan untuk memenuhi kecepatan pengaliran yang dibutuhkan agar tidak terdapat penyumbatan maupun penggerusan dalam pipa. Perhitungan diameter pipa air limbah adalah sebagai berikut.

- Contoh perhitungan untuk pipa jalur A-B
- $Q_{peak} = 0,0003 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{min} = 0,0001 \text{ m}^3/\text{s}$
- Kecepatan aliran (V) direcanakan 0,6 m/s
- Slope direcanakan 0,5%
- Luas area penampang pipa (A):

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q_{peak}}{V} \\
 &= \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \text{ m/s}} \\
 &= 0,0005 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Dari luas penampang dapat diketahui diameter pipa (D):

$$\begin{aligned}
 D &= \frac{\sqrt{0,0005}}{\pi} \times 2 \\
 &= 0,014 \text{ m} \\
 &= 14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diameter pipa yang dipakai adalah 2" sehingga dipakai pipa merk wavin standard kelas D yang memiliki diameter dalam adalah 60 mm = 0,06 m, maka diperoleh nilai V sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{cek} &= \frac{Q_{peak}}{A} \\
 &= \frac{0,0003 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0028 \text{ m}^2} \\
 &= 0,106 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diameter pipa secara lengkap dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2

**Tabel 5.1** Perhitungan Diameter Pipa Grey Water

Jalur pipa	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V (m/s)	A (m <sup>2</sup> )	D hitung (mm)	D pakai (mm)	V cek (m/s)	Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>min</sub> (m/s)
A-B	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,05
C-D	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
E-F	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
G-H	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
H-F	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
F-D	0,0006	0,6	0,001	20,14	60	0,21	0,0002	0,07
D-B	0,0009	0,6	0,0015	24,67	60	0,32	0,0003	0,11
B-I	0,0012	0,6	0,002	28,48	60	0,42	0,0004	0,14
I-J	0,0015	0,6	0,0025	31,85	60	0,53	0,0005	0,18
K-L	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
M-N	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
O-P	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04

Jalur pipa	Qpeak (m3/s)	V (m/s)	A (m2)	D hitung (mm)	D pakai	V cek (m/s)	Qmin (m3/s)	Vmin (m/s)
P-N	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
N-L	0,0006	0,6	0,001	20,14	60	0,21	0,0002	0,07
L-J	0,0009	0,6	0,0015	24,67	60	0,32	0,0003	0,11
J-Q	0,0024	0,6	0,004	40,28	60	0,85	0,0008	0,28
R-S	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
T-U	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
U-S	0,0003	0,6	0,0005	14,24	60	0,11	0,0001	0,04
S-Q	0,0006	0,6	0,001	20,14	60	0,21	0,0002	0,07
Q-V	0,003	0,6	0,005	45,04	60	1,06	0,0001	0,04

**Tabel 5.2** Perhitungan Diameter Pipa Black Water

Jalur pipa	Qpeak (m3/s)	V (m/s)	A (m2)	D hitung (mm)	D pakai (mm)	V cek (m/s)	Qmin (m3/s)	Vmin (m/s)
a-b	0,00005	0,6	0,00008	5,81	32	0,06	0,00002	0,03
b-c	0,0001	0,6	0,00017	8,22	32	0,12	0,00005	0,06
c-f	0,0001	0,6	0,00017	8,22	32	0,12	0,00005	0,06
d-e	0,00005	0,6	0,00008	5,81	32	0,06	0,00002	0,03
e-f	0,0001	0,6	0,00017	8,22	32	0,12	0,00005	0,06
f-i	0,0002	0,6	0,00033	11,63	32	0,25	0,00010	0,12
g-h	0,00005	0,6	0,00008	5,81	32	0,06	0,00002	0,03
h-i	0,00005	0,6	0,00008	5,81	32	0,06	0,00002	0,03
i-j	0,00025	0,6	0,00042	13,00	32	0,31	0,00012	0,15

## B. Penanaman Pipa

- Contoh perhitungan untuk pipa jalur a-b (black water)  
Elevasi medan A = 1,74 m

Elevasi medan B = 1,73 m

Penanaman pipa = 0,5 m

Slope pipa 0,005%

Elevasi pipa rencana A = 1,74 m – 0,5 m = 1,24 m

Elevasi pipa rencana B = 1,24 m – ( 0,005 x 20 m )  
= 1,14 m

Panjang pipa (L) = 20 m

Beda elevasi = L x Slope = 20 x 0,005 = 0,1 m

Diameter pipa = 32 mm

- Elevasi awal pipa

Dasar Pipa = elevasi pipa eksisting a  
= 1,24 m

Punggung Pipa = elevasi pipa eksisting A + diameter  
= 0,24 + 0,03  
= 1,27 m

- Elevasi akhir pipa

Dasar Pipa = elevasi dasar pipa eksisting a – ΔH  
= 1,24 – 0,01  
= 1,14 m

Punggung Pipa = elevasi akhir dasar pipa + diameter  
= 1,14 + 0,03  
= 1,17 m

- Kedalaman penanaman

Kedalaman awal

= elevasi medan awal – elevasi awal pipa A dasar  
= 1,74 m – 1,24 m = 0,5 m

Kedalaman akhir

= elevasi medan akhir – elevasi akhir pipa c dasar  
= 1,73 – 1,14 = 0,59 m

Perhitungan penanaman pipa secara lengkap dapat dilihat pada tabel 5.3 dan 5.4

**Tabel 5.3 Perhitungan Diameter Pipa Grey Water**

Jalur pipa	Panjang (m)	Diameter (m)	Elevasi medan		Slope	$\Delta H$ (m)	Elevasi awal		Elevasi akhir		Kedalaman	
			awal	akhir			atas	bawah	atas	bawah	awal	akhir
A-B	60	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
C-D	60	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
E-F	60	0,06	1,74	1,73	0,000	0,00	1,3	1,24	1,30	1,24	0,5	0,49
G-H	60	0,06	1,74	1,73	0,000	0,00	1,3	1,24	1,30	1,24	0,5	0,49
H-F	22	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
F-D	4	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
D-B	22	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
B-I	6	0,06	1,73	1,73	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,50
I-J	75	0,06	1,73	1,72	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,49
K-L	60	0,06	1,73	1,72	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,49
M-N	60	0,06	1,73	1,72	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,49
O-P	60	0,06	1,73	1,72	0,000	0,00	1,29	1,23	1,29	1,23	0,5	0,49
P-N	22	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50
N-L	4	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50
L-J	22	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50

Jalur pipa	Panjang (m)	Diameter (m)	Elevasi medan		Slope	$\Delta H$ (m)	Elevasi awal		Elevasi akhir		Kedalaman	
J-Q	5	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50
R-S	60	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50
T-U	60	0,06	1,71	1,71	0,000	0,00	1,27	1,21	1,27	1,21	0,5	0,50
U-S	22	0,06	1,71	1,72	0,000	0,00	1,27	1,21	1,27	1,21	0,5	0,51
S-Q	10	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50
Q-V	9	0,06	1,72	1,72	0,000	0,00	1,28	1,22	1,28	1,22	0,5	0,50

**Tabel 5.4 Perhitungan Diameter Pipa Black Water**

Jalur pipa	Panjang (m)	Diameter (m)	Elevasi medan		Slope	$\Delta H$ (m)	Elevasi awal		Elevasi akhir		Kedalaman	
			awal	akhir			atas	bawah	atas	bawah	awal	akhir
a-b	20	0,03	1,74	1,73	0,005	0,10	1,27	1,24	1,17	1,14	0,50	0,59
b-c	20	0,03	1,73	1,73	0,005	0,10	1,17	1,14	1,07	1,04	0,59	0,69
c-f	135	0,03	1,73	1,72	0,005	0,68	1,07	1,04	0,40	0,37	0,69	1,36
d-e	20	0,03	1,72	1,72	0,005	0,10	1,25	1,22	1,15	1,12	0,50	0,60
e-f	10	0,03	1,72	1,72	0,005	0,05	1,15	1,12	1,10	1,07	0,60	0,65
f-i	5	0,03	1,72	1,72	0,005	0,03	0,37	0,33	0,34	0,31	1,39	1,41

Jalur pipa	Panjang (m)	Diameter (m)	Elevasi medan		Slope	$\Delta H$ (m)	Elevasi awal		Elevasi akhir		Kedalaman	
			awal	akhir			atas	bawah	atas	bawah	awal	akhir
g-h	8	0,03	1,72	1,72	0,005	0,04	1,25	1,22	1,21	1,18	0,50	0,54
h-i	10	0,03	1,72	1,72	0,005	0,05	1,21	1,18	1,16	1,13	0,54	0,59
i-j	4	0,03	1,72	1,72	0,005	0,02	0,31	0,28	0,29	0,26	1,44	1,46



### 5.3 Evaluasi IPAL Eksisting

Rumah susun Romokalisari telah memiliki IPAL eksisting, yaitu berupa tangki septik yang mengolah limbah black water. Evaluasi ini nantinya hanya dibatasi dari segi dimensi eksisting, hal ini dimaksudkan untuk memanfaatkan unit pengolahan yang masih bisa dioperasikan.

Tangki septik Romokalisari memiliki dimensi (5 x 3 x 2) m<sup>3</sup> untuk melayani satu gedung. Berikut merupakan perhitungan evaluasi tangki septik eksisting dengan pertimbangan HRT dan persen removal.

Unit : 99 KK tiap tangki septik

Jumlah penduduk per unit : 4 orang

Jumlah terlayani tangki septik : 99 x 4 = 396 orang

Volume tangki septik :

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume lumpur :

Pengurasan lumpur tiap 1 tahun

$$\begin{aligned} V &= P \times N \times S \\ &= 396 \times 1 \times 25 \text{ l/orang/tahun} \\ &= 9900 \text{ l} = 9,9 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi lumpur} &= V / \text{lebar} / \text{panjang} \\ &= 9,9 / 2 / 4 \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Vol. Stabilisasi

$$\begin{aligned} &= R_s \times P \\ &= 0,0425 \text{ m}^3/\text{orang} \times 396 \end{aligned}$$

orang

$$= 16,83 \text{ m}^3$$

Volume zona limbah = volume eksisting – volume lumpur – volume stabilisasi

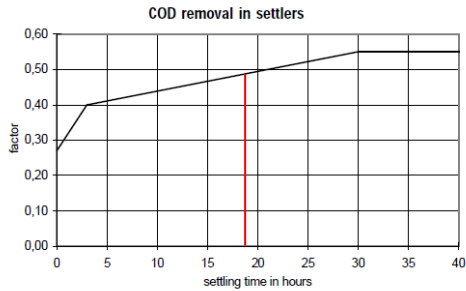
$$= 30 \text{ m}^3 - 9,9 \text{ m}^3 - 16,83 \text{ m}^3 = 3,27$$

m<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} Q \text{ satu unit} &= 0,00005 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0,00005 \text{ m}^3/\text{s} \times 3600 \\ &= 0,18 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

HRT

$$\begin{aligned}
 &= V / Q \\
 &= 3,27 \text{ m}^3 / 0,18 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 19 \text{ jam}
 \end{aligned}$$



**Fig. 68.**

COD removal in settlers

**Gambar 5.1 Grafik removal COD pada Settler**  
(Sasse, 1998)

Pada grafik di gambar 5.1 menunjukkan dengan HRT 38 jam faktornya didapat 0,49

$$\begin{aligned}
 \text{Persen removal COD} &= 0,42 / 0,6 \times 0,49 \times 100 \text{ (Sasse, 2009)} \\
 &= 0,42 / 0,6 \times 0,49 \times 100 \\
 &= \mathbf{34,3 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD Effluen} &= (100 - 34,3) \times \text{konsentrasi BW} / 100 \\
 &= (100 - 34,3) \times 905 / 100 \\
 &= \mathbf{556 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persen Removal BOD} &= 1,06 \times \% \text{ removal COD (Sasse, 2009)} \\
 &= 1,06 \times 34,3\% \\
 &= \mathbf{36,35\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD Effluen} &= (100 - 40,81) \times \text{Konsentrasi BW} / 100 \\
 100 &= (100 - 40,81) \times 560 / 100 \\
 &= \mathbf{331,5 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Persen Removal TSS} = 75 \% \text{ (Bounds, 1994)}$$

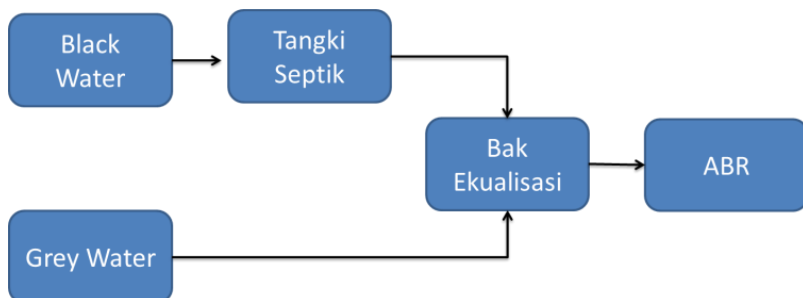
$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi TSS} &= (100 - 75) \times \text{konsentrasi BW} / 100 \\
 &= (100 - 75) \times 970 / 100 \\
 &= 242,5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

#### 5.4 Desain Unit IPAL

Perencanaan unit IPAL harus berdasarkan pada tujuan akhir yakni menjaga kualitas effluen agar tidak mencemari lingkungan disekitarnya. Dalam hal ini batasan effluen telah ditetapkan oleh peraturan perundangan yang berlaku. Hal ini berarti setiap perencanaan IPAL harus berdasarkan pada baku mutu yang telah ditetapkan.

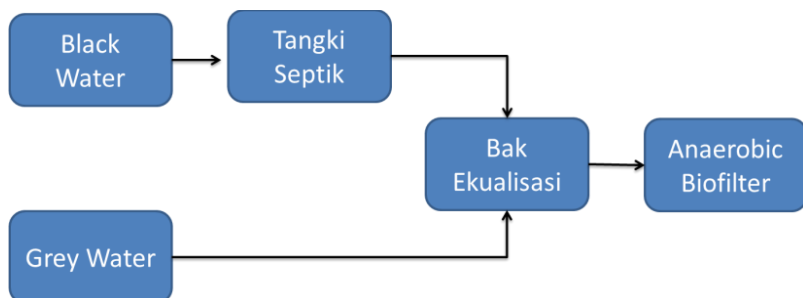
Pada perencanaan unit IPAL ini, parameter yang dijadikan dasar perencanaan adalah BOD<sub>5</sub> dan COD. Hal ini dikarenakan dua parameter ini adalah parameter yang paling *reliable* dan paling merepresentasikan kandungan organik dalam air limbah sehingga paling sering dipakai sebagai acuan perencanaan IPAL secara umum. Adapun TSS tidak dipakai sebagai acuan dikarenakan TSS mencakup seluruh partikel tersuspensi itu sendiri, termasuk BOD dan COD. Artinya kalau BOD dan COD telah tepenyisihan (tersisihkan) maka secara otomatis nilai TSS pun juga pasti turun. Selain itu minyak dan lemak tidak dijadikan parameter karena nilainya yang tidak terlalu besar, selain itu juga adanya unit *grease trap* eksisting pada masing-masing unit kamar dapat menangkap lemak dan minyak sebelum masuk ke unit IPAL.

Pada perencanaan kali ini, unit IPAL yang didesain terdiri atas dua unit yang terdiri atas *anaerobic filter (attached growth)* dan *anaerobic baffled reactor (suspended growth)*. Tujuan merencanakan dua unit IPAL dengan sistem yang berbeda ini adalah untuk membandingkan tingkat efektivitas dan efisiensi anatar media terlekat (*attached*) dan media tersuspensi (*suspended*). Skema rencana desain unit IPAL dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 5.2 Skema Alternatif Desain 1 unit IPAL**

Alternatif Desain 1 menggunakan unit bak ekualisasi dan bak pengendap yang terintegrasi dengan *anaerobic baffled reactor*. Bak ekualisasi memiliki fungsi yakni meredam *shock loading* baik berupa *organic* maupun *hydraulic*. Selain itu juga menyeragamkan kualitas air limbah yang akan masuk ke unit IPAL. Bak pengendap berfungsi sebagai pengendap awal (*primary settlement*) yang akan mengendapkan padatan tersuspensi (*suspended solid*) serta mengurangi kandungan BOD dan COD.



**Gambar 5.3 Skema Alternatif Desain 2 unit IPAL**

Alternatif desain 2 menggunakan unit bak ekualisasi dan bak pengendap yang terintegrasi dengan *anaerobic filter*. Bak ekualisasi berfungsi sebagai peredam *shock loading*

sekaligus menyeragamkan fluktuasi debit dari alat-alat plumbing yang akan masuk ke unit IPAL. Bak pengendap berfungsi sebagai pengendap awal (*primary settlement*) yang akan mengendapkan padatan tersuspensi (*suspended solid*) serta mengurangi kandungan BOD dan COD. *Anaerobic filter* yang didesain menggunakan sistem up-flow dengan menggunakan media lekatan.

### 5.3.1 Bak Ekualisasi

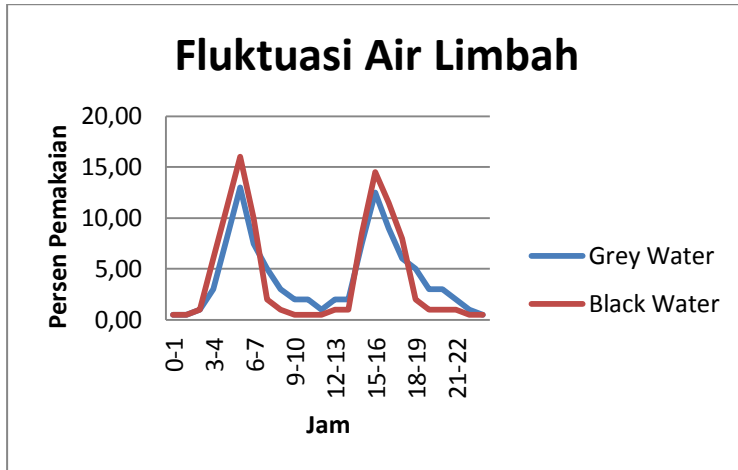
Bak ekualisasi merupakan unit *pre-treatment* yang berfungsi untuk menstabilkan debit dan kualitas air limbah sebelum memasuki unit pengolahan biologis. Tujuannya adalah untuk mencegah *shock loading* yang dapat mengurangi tingkat efisiensi penyisihan air limbah. Selain itu, perhitungan bak ekualisasi yang tepat dapat mencegah terjadinya kesalahan perencanaan baik berupa *over design* (dimensi terlalu besar) maupun *under design* (dimensi terlalu kecil).

#### A. Perhitungan Dimensi

Perhitungan dimensi bak ekualisasi dilakukan sesuai dengan langkah-langkah berikut :

1. Memasukkan data fluktuasi debit air limbah.

Data fluktuasi air limbah di dapatkan dari data fluktuasi air bersih yang telah dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap 40 KK yang tinggal di rumah susun, dari hasil wawancara didapatkan data berikut.



**Gambar 5.4 Fluktuasi Air Limbah**

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa jam puncak pemakaian air terjadi pada pukul 05.00-06.00 WIB. Persentase fluktuasi debit air limbah diatas dijadikan dasar dalam perencanaan bak ekualisasi.

- Debit limbah per jam didapatkan dengan mengalikan persentase fluktuasi air limbah dengan debit rata-rata harian air limbah seperti dapat dilihat pada contoh berikut.

Contoh untuk jam 00.00 – 01.00:

Persen pemakaian GW	= 0,5%
Q ave total GW	= 0,0024 m <sup>3</sup> /s
Persen pemakaian BW	= 0,5%
Q ave total BW	= 0,0002 m <sup>3</sup> /s
Q ave GW jam 00.00 – 01.00	= 0,5% x 0,0024 m <sup>3</sup> /s
	= 0,00001 m <sup>3</sup>
Q ave BW jam 00.00 – 01.00	= 0,5% x 0,0002 m <sup>3</sup> /s
	= 0,000001 m <sup>3</sup>

- Penentuan volume dilakukan dengan memasukkan data fluktuasi debit air limbah dan kualitasnya.

Data yang diperlukan meliputi :

Q ave (m<sup>3</sup>/s) = debit rata-rata tiap jam. Diperoleh dengan mengalikan antara persentase fluktuasi dengan debit rata-rata

Qave (m<sup>3</sup>/jam) = Q ave (m<sup>3</sup>/s) x 1 x 3600 s

Qcum (m<sup>3</sup>) = Qave (m<sup>3</sup>/jam) jam 1 + Qave (m<sup>3</sup>/jam) jam 2 + Qave (m<sup>3</sup>/jam) 3 . . .

Qcum-ave = rata-rata dari Q ave (m<sup>3</sup>/s) x 1 x 3600

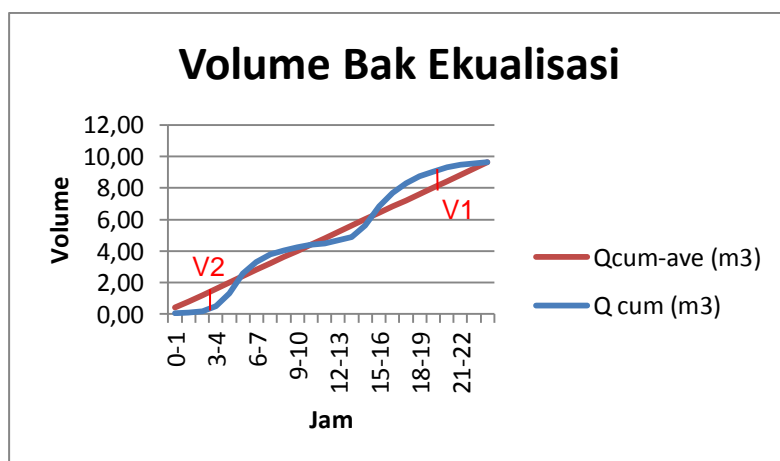
Hasil perhitungan menggunakan program *Microsoft Excel* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut

**Tabel 5.3 perhitungan volume bak ekualisasi**

jam	% pemakaian		Q ave (m <sup>3</sup> /s)		Q ave (m <sup>3</sup> /jam)	Q cum (m <sup>3</sup> )	Qcum-ave (m <sup>3</sup> )
	GW	BW	GW	BW			
0-1	0,50	0,50	0,00001	0,000001	0,048125	0,05	0,40
1-2	0,50	0,50	0,00001	0,000001	0,048125	0,10	0,80
2-3	1,00	1,00	0,00002	0,000002	0,09625	0,19	1,20
3-4	3,00	6,00	0,00007	0,000014	0,313294	0,51	1,60
4-5	8,00	11,00	0,00020	0,000025	0,794544	1,30	2,01
5-6	13,00	16,00	0,00032	0,000036	1,275794	2,58	2,41
6-7	7,50	10,00	0,00018	0,000023	0,742328	3,32	2,81
7-8	5,00	2,00	0,00012	0,000005	0,456706	3,78	3,21
8-9	3,00	1,00	0,00007	0,000002	0,272388	4,05	3,61
9-10	2,00	0,50	0,00005	0,000001	0,180228	4,23	4,01
10-11	2,00	0,50	0,00005	0,000001	0,180228	4,41	4,41
11-12	1,00	0,50	0,00002	0,000001	0,092159	4,50	4,81
12-13	2,00	1,00	0,00005	0,000002	0,184319	4,68	5,21
13-14	2,00	1,00	0,00005	0,000002	0,184319	4,87	5,61

jam	% pemakaian		Q ave (m <sup>3</sup> /s)		Q ave (m <sup>3</sup> /jam)	Q cum (m <sup>3</sup> )	Qcum-ave (m <sup>3</sup> )
	GW	BW	GW	BW			
14-15	7,50	8,50	0,00018	0,000019	0,730056	5,60	6,02
15-16	12,50	14,50	0,00031	0,000033	1,219488	6,82	6,42
16-17	9,00	11,50	0,00022	0,000026	0,886703	7,71	6,82
17-18	6,00	8,00	0,00015	0,000018	0,593863	8,30	7,22
18-19	5,00	2,00	0,00012	0,000005	0,456706	8,76	7,62
19-20	3,00	1,00	0,00007	0,000002	0,272388	9,03	8,02
20-21	3,00	1,00	0,00007	0,000002	0,272388	9,30	8,42
21-22	2,00	1,00	0,00005	0,000002	0,184319	9,48	8,82
22-23	1,00	0,50	0,00002	0,000001	0,092159	9,58	9,22
23-24	0,50	0,50	0,00001	0,000001	0,048125	9,63	9,63

Dari Tabel 5.3 diatas lalu diplotkan antara data debit kumulasi (Q cum) dengan debit akumulasi rata-rata (Q cum-ave) dalam sebuah grafik sehingga didapatkan hasil berikut.



**Gambar 5.5 Grafik Volume Bak Ekualisasi**



Dari hasil grafik diatas dapat dihitung volume bak ekualisasi yaitu dengan menjumlahkan selisih fluktuasi debit tertinggi :

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= V1 + V2 \\ &= 1,1 \text{ m}^3 + 1,15 \text{ m}^3 \\ &= 2,25 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Kedalaman bak ditentukan sebesar 1 m.

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan (A)} &= \text{Volume} / \text{kedalaman} \\ &= 2,25 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\ &= 2,25 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar} &= (2,25)^{0,5} \\ &= 1,5 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Panjang} = 1,5 \text{ m}$$

Setelah itu volume yang telah dihitung ditambahkan volume waktu detensi (td) selama 10 menit untuk mencegah pompa di dalam bak ekualisasi agar tidak kering.

$$\begin{aligned}\text{Waktu detensi (td)} &= 10 \text{ menit} \\ Q &= 0,0026736 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Volume} &= td \times Q \\ &= 1,6 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Maka dapat dihitung dimensi totalnya:

$$\begin{aligned}\text{Volume total} &= 1,6 \text{ m}^3 + 2,25 \text{ m}^3 \\ &= 3,85 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Tinggi ditentukan 1 m.

$$\begin{aligned}\text{Luas Permukaan} &= 3,85 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\ &= 3,85 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar} &= (3,85)^{0,5} \\ &= 1,96 \text{ m}\end{aligned}$$

Panjang = 1,96 m

## B. Pompa

Perhitungan pompa diperlukan untuk mengetahui karakteristik pompa dan aksesoris yang dibutuhkan. Pompa disini berfungsi untuk mengalirkan air secara konstan dari bak ekualisasi ke unit IPAL selanjutnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pompa adalah sebagai berikut:

1. Debit yang digunakan dalam perhitungan adalah 2 kali dari debit rata-rata. Hal ini dikarenakan setengah dari debit pompa akan diresirkulasi ke bak ekualisasi sebagai proses *mixing* agar pemerataan kualitas air limbah semakin optimal.
2. Kecepatan aliran dalam pipa harus < 2 m/detik untuk mencegah tergerusnya pipa oleh aliran air.

Pompa yang akan digunakan pada bak pengumpul ini merupakan pompa berjenis *submersible pump*. Berikut ini merupakan perhitungan yang menjadi dasar penentuan spesifikasi pompa.

Direncanakan:

Jumlah pompa pada 1 bak ekualisasi = 1 buah

Kecepatan aliran (v) asumsi = 1 m/s

Diketahui:

$$\begin{aligned}\text{Debit (Q) aliran} &= Q_{\text{ave total}} \times 2 \\ &= 462 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,0027 \text{ m}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

– Luas permukaan pipa ( $A_{\text{pipa}}$ )

$$\begin{aligned}A_{\text{pipa}} &= Q / v \\ &= 0,0027 \text{ m}^3/\text{detik} / 1 \text{ m/s} \\ &= 0,0027 \text{ m}^2\end{aligned}$$

– Diameter pipa ( $D_{\text{pipa}}$ )

$$D_{\text{pipa}} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{2 \times \pi}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{\frac{4 \times 0,0027 \text{ m}^3/\text{detik}}{2 \times 3,14}} \\
 &= 0,08 \text{ m} \\
 &= 80 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm (diameter pipa pasaran)}
 \end{aligned}$$

– Head pompa (Head<sub>pompa</sub>)

$$\text{Head}_{\text{pompa}} = \text{Head}_{\text{statis}} + \text{Head}_{\text{sistem}}$$

Head<sub>statis</sub> = selisih ketinggian dasar bak dengan inlet IPAL

$$= 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Head}_{\text{sistem}} = H_{f_{\text{mayor}}} + H_{f_{\text{minor}}} + H_v$$

$$H_{f_{\text{mayor}}} = H_{f_{\text{discharge}}}$$

Diketahui:

Panjang pipa discharge pompa (L discharge) = 3 m

$$\begin{aligned}
 H_{f_{\text{discharge}}} &= \left[ \frac{Q}{0,00155 \times c \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
 &= \left[ \frac{2,7 \text{ L/dt}}{0,00155 \times 130 \times 0,1^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6 \text{ m} \\
 &= 0,004 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$H_{f_{\text{minor}}} = k \times \left( \frac{v^2}{2 \times g} \right)$$

H<sub>f<sub>minor</sub></sub> akibat Tee (K = 0,9)

$$\begin{aligned}
 H_{f_{\text{minor}}} &= \left( \frac{kv^2}{2g} \right) \\
 &= 0,9 \times \left( \frac{1 \frac{\text{m}^2}{\text{dt}}}{2 \times 9,81} \right) \\
 &= 0,045 \text{ m}
 \end{aligned}$$

H<sub>f<sub>minor</sub></sub> akibat 3 belokan 90° (k = 0,5)

$$\begin{aligned}
 H_{f_{\text{minor}}} &= \left( \frac{kv^2}{2g} \right) \\
 &= 0,076 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$H_{f_{\text{minor}}}$  akibat ball *valve* ( $k = 0,05$ )

$$\begin{aligned} H_{f_{\text{minor}}} &= \left( \frac{kv^2}{2g} \right) \\ &= 0,005875 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{f_{\text{minor}}} \text{ total} &= 0,045 \text{ m} + 0,076 \text{ m} + 0,0059 \text{ m} \\ &= 0,1269 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_v &= \frac{v^2}{2 \times g} \\ &= \frac{1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}}{2 \times 9,81} \\ &= 0,051 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head}_{\text{sistem}} &= H_{f_{\text{mayor}}} + H_{f_{\text{minor}}} + H_v \\ &= 0,004 \text{ m} + 0,127 \text{ m} + 0,051 \text{ m} \\ &= 0,469 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, Head pompa yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Head}_{\text{pompa}} &= \text{Head}_{\text{statis}} + \text{Head}_{\text{sistem}} \\ &= 4,5 \text{ m} + 0,469 \text{ m} \\ &= 4,969 \text{ m} \end{aligned}$$

Pompa yang digunakan pada bak pengumpul adalah pompa yang ditentukan dari brosur spesifikasi pompa berdasarkan debit discharge pompa, *head* sistem dan *head* pompa yang telah dihitung. Hasil penentuan pompa yaitu menggunakan pompa dengan jenis:

- Nama produk : Ebara DWM Vox 75
- Nomor produk : 1589030021

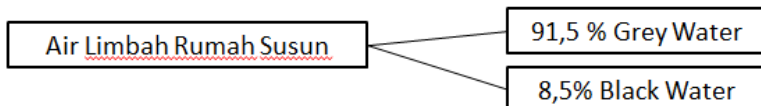
Spesifikasi lebih rinci dapat dilihat pada Lampiran. Berikut ini merupakan Gambar 5.6 Yang merupakan tampilan dari pompa yang digunakan. Pompa ini memiliki debit maksimum 48 m<sup>3</sup> / jam dan head maksimum 17 m.



**Gambar 5.6 Pompa Ebara DWM Vox 75**

### C. Perhitungan Debit Campuran

Bak ekualisasi merupakan tempat percampuran dari grey water dan effluent dari septiktank. Kedua jenis air limbah tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga konsentrasi limbah yang diketahui juga akan berubah. Persentase kuantitas masing-masing air limbah diambil dari penelitian terdahulu.



**Gambar 5.7 Persentase Air Limbah Rumah Susun**  
(Sumber: Saifulloh, 2015)

Berdasarkan persentase tersebut dapat dihitung konsentrasi campuran limbah sebagai berikut.

Parameter BOD

$$\begin{aligned}
 C_{mix} &= ((C_b \times Q_b) + (C_g \times Q_g)) / (Q_b + Q_g) \\
 &= \\
 &= \frac{((331,5 \text{ mg/L} \times 9,945 \text{ L/orang.hari}) + (105 \text{ mg/L} \times 107,055 \text{ L/orang.hari}))}{(9,945 \text{ L/orang.hari} + 107,055 \text{ L/orang.hari})} \\
 &= 124,25 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Parameter COD

$$\begin{aligned} \text{Cmix} &= ((\text{Cb} \times \text{Qb}) + (\text{Cg} \times \text{Qg})) / (\text{Qb} + \text{Qg}) \\ &= \\ &= \frac{((556 \text{ mg/L} \times 9,945 \text{ L/orang.hari}) + (164 \text{ mg/L} \times 107,055 \text{ L/orang.hari}))}{(9,945 \text{ L/orang.hari} + 107,055 \text{ L/orang.hari})} \\ &= 197,32 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Parameter TSS

$$\begin{aligned} \text{Cmix} &= ((\text{Cb} \times \text{Qb}) + (\text{Cg} \times \text{Qg})) / (\text{Qb} + \text{Qg}) \\ &= \\ &= \frac{((242,5 \text{ mg/L} \times 9,945 \text{ L/orang.hari}) + (132 \text{ mg/L} \times 107,055 \text{ L/orang.hari}))}{(9,945 \text{ L/orang.hari} + 107,055 \text{ L/orang.hari})} \\ &= 141,4 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

### 5.3.2 Anaerobic Filter

#### A. Perhitungan Dimensi

Perhitungan dimensi didasarkan pada kriteria desain bangunan IPAL, menurut Sasse (1998), kriteria desain *Anaerobic Filter* adalah:

1. Luas permukaan media : 90-300 m<sup>2</sup> /m<sup>3</sup>
2. Penyisihan BOD : 70-90%
3. Jenis media : kerikil, batu (5-10 cm), plastik, arang (5-15 cm)
4. Organic loading : <4.5 kg COD/m<sup>3</sup> .hari
5. Hydraulic retention time : 1 - 2 hari

#### Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Qave} &= 231 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Qpeak} &= \text{Qave} \times 1,2 \\ &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{COD}_{\text{inf}} &= 197,32 \text{ mg/L} \\ \text{BOD}_{5\text{inf}} &= 124,25 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Suhu pengolahan} &= 30^{\circ}\text{C} \\ \text{Waktu pengaliran} &= 24 \text{ jam} \\ \text{Pengurasan lumpur} &= 24 \text{ bulan} \end{aligned}$$

Td Bak pengendap = 2 jam  
 Luas permukaan filter = 180 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>  
 Rasio SS/COD = 0,42 --- (0,35 – 0,45 untuk limbah domestic)  
 Porositas media = 98% (dari spesifikasi media di pasaran)  
 HRT *Anaerobic filter* = 24 jam

**Dihitung:**

Q per jam =  $Q_{peak} / \text{waktu pengaliran}$   
 = 277,2 m<sup>3</sup>/hari / 24 jam  
 = 11,55 m<sup>3</sup>/jam  
 Rasio COD/BOD<sub>5</sub> =  $COD_{inf} / BOD_{5inf}$   
 = 197,32 mg/L / 124,25 mg/L  
 = 1,588  
 CODrem bak pengendap =  $\text{rasio SS/COD} \times (HRT-1) \times 0,1 \times 2 + 0,3$   
 =  $0,42 \times (2-1) \times 0,1 \times 2 + 0,3$   
 = 25 %

Perhitungan diatas berkaitan dengan Gambar 2.7 Grafik CODrem pada bak pengendap. Faktor BODrem/CODrem ditentukan berdasarkan grafik BODrem/CODrem Gambar 2.8 Grafik hubungan efisiensi penyisihan BOD dan COD. Dari grafik diketahui dengan nilai CODrem sebesar 24,5 %, maka nilai rasio BODrem/CODrem adalah sebesar 1,06.

Penyisihan BOD<sub>5</sub> =  $\text{rasio BODrem/CODrem} \times \text{penyisihan COD bak pengendap}$   
 = 1,06 x 24,5 %  
 = 25,9 %  
 CODinf di *Anaerobic filter* =  $COD_{inf} \times (1 - \text{CODrem bak pengendap})$   
 = 197,32 mg/L x (1 – 0,2275)  
 = 148,9 mg/L  
 BOD5inf di *Anaerobic filter* =  $BOD_{5inf} \times (1 - \text{CODrem bak pengendap})$

$$\begin{aligned}
 &= 124,25 \text{ mg/L} \times (1 - 0,259) \\
 &= 91,98 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Efisiensi penyisihan di *Anaerobic filter* dihitung dengan menggunakan empat factor, yaitu:

a. F- temp (faktor-temperatur), yakni faktor yang menunjukkan hubungan antara CODrem di *Anaerobic filter* dengan suhu pengolahan. Penentuan nilai f-temp berdasarkann pada grafik f-temp seperti tertera pada Gambar 2.9. Dari grafik tersebut , dengan suhu pengolahan di unit IPAL *anaerobic filter* adalah 30°C, maka nilai f-temp adalah 1,1.

b. F-strength adalah nilai faktor yang menunjukkan hubungan antara CODrem di *Anaerobic filter* dengan kekuatan atau konsentrasi COD pada air limbah. Penentuan nilai f-strength berdasarkann pada grafik f-strength pada Gambar 2.10. Dari grafik f-strength tersebut memasukkan nilai CODinf adalah sebesar 300,175 mg/L maka dapat diketahui nilai f-strength adalah sebesar 0,88.

c. F-surface adalah nilai faktor yang menunjukkan hubungan antara CODrem di *Anaerobic filter* dengan luas permukaan media filter. Penentuan nilai f-surface berdasarkann pada grafik f-surface pada Gambar 2.11. Dari grafik f-surface tersebut, dengan memasukkan nilai luas spesifik media filter adalah sebesar 180 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, maka dapat diketahui nilai f-surface adalah sebesar 1,06.

d. F-HRT adalah nilai faktor yang menunjukkan hubungan antara CODrem di *Anaerobic filter* dengan lamanya waktu tinggal (*Hydraulic Retention Time*). Penentuan nilai f-HRT ditentukan berdasarkann grafik pada Gambar 2.12. Dari grafik tersebut dengan memasukkan nilai HRT pada aaerobik filter selama 24 jam maka didapatkan nilai f-HRT sebesar 0,7.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ CODpenyisihan AF} &= f\text{-temp} \times f\text{-strength} \times f\text{-surface} \times f\text{-HRT} \\
 &= 1,1 \times 0,88 \times 1,048 \times 0,7 \\
 &= 86,9\%
 \end{aligned}$$



COD effluen *anaerobic filter* = CODinf di *Anaerobic filter* x (1 - % CODpenyisihan *anaerobic filter*)

$$= 148,9 \text{ mg/L} \times (1 - 0,869)$$

$$= 19,44 \text{ mg/L}$$

% CODpenyisihan Total = 1 - (COD effluen *anaerobic filter* / CODinf)

$$= 1 - (19,44 \text{ mg/L} / 197,32 \text{ mg/L})$$

$$= 90,1\%$$

Faktor penyisihan BOD/COD = berdasarkan kurva rasio BODrem/CODrem, dengan memasukkan nilai persentase CODrem sebesar 90,1%, maka nilai faktor penyisihan BOD/COD adalah sebesar **1,025**.

% BOD5 penyisihan total = % COD penyisihan Total x Faktor penyisihan BOD/COD

$$= 90,1 \times 1,025$$

$$= 92,4 \%$$

BOD5 effluen *anaerobic filter* = (1 - % BOD5 penyisihan total) x BOD5inf

$$= (1 - 92,4) \times 124,25 \text{ mg/L}$$

$$= 9,44 \text{ mg/L}$$

### **Perhitungan Dimensi Bak Pengendap**

Direncanakan:

Lebar dalam = 4 m

Hair di Inlet = 2 m

Dihitung:

Lumpur akumulasi =  $0,005 \times (0,5 - (\text{interval pengurasan} - 36)) \times 0,002$

$$= 0,005 \times (0,5 - (36 - 36)) \times 0,002$$

$$= 0,003 \text{ L/kg. BOD}$$

Persamaan diatas berkaitan dengan grafik pada Gambar 2.11

Volume bak pengendap = 47 m<sup>3</sup>

Panjang bak pertama =  $\frac{2}{3} \times \text{Volume bak pengendap} / \text{Lebar dalam} / \text{Hair di Inlet}$

$$\begin{aligned}
 &= 2/3 \times 48 \text{ m}^3 / 2 \text{ m} / 2 \text{ m} \\
 &= 3,9 = 4 \text{ m} \\
 \text{Panjang bak kedua} &= \text{Panjang bak pertama} / 2 \\
 &= 4 \text{ m} / 2 \\
 &= 2 \text{ m} \\
 \text{Volume actual bak pengendap} &= (\text{Panjang bak pertama} + \\
 &\quad \text{Panjang bak kedua}) \times \\
 &\quad \text{Lebar dalam} \times \text{Hair di} \\
 &\quad \text{Inlet} \\
 &= (4 \text{ m} + 2 \text{ m}) \times 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 48 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan Dimensi *Anaerobic Filter***

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Panjang tiap kamar} &= 4 \text{ m (kedalaman} \times 2) \\
 \text{Jumlah kamar} &= 5 \text{ buah} \\
 \text{Ruang dibawah media} &= 0,6 \text{ m} \\
 \text{Ketinggian filter} &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki filter} &= \text{HRT} \times Q / 24 \\
 &= 36 \text{ jam} \times 415,8 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \\
 &= 277,2 \text{ m}^3 \\
 \text{Lebar kamar} &= \text{volume tangki filter} / \text{jumlah kamar} / \\
 &\quad ((1/4 \times \text{kedalaman}) + (\text{panjang tiap} \\
 &\quad \text{kamar} \times (\text{kedalaman} - \text{ketinggian} \\
 &\quad \text{filter} \times (1 - \text{porositas media})) \\
 &= 415,8 \text{ m}^3 / 5 / ((1/4 \times 2 \text{ m}) + (4 \text{ m} \\
 &\quad \times (2 \text{ m} - 1 \text{ m} \times (1 - 0,98))) \\
 &= 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **B. Mass Balance**

Perhitungan kesetimbangan massa diperlukan untuk mengetahui proses yang terjadi pada setiap unit. Perhitungan *mass balance* untuk unit *Anaerobic Filter* ini sebagai berikut:

#### ***Influen***

Masuk ke unit Bak pengendap

$$\begin{aligned}
 Q &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{MBOD} &= Q \times \text{BOD} \\
 &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (124,25 \text{ mg/L} / 1000) \\
 &= 34.4 \text{ kg BOD/hari} \\
 \text{MCOD} &= Q \times \text{COD} \\
 &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (197,32 \text{ mg/L} / 1000) \\
 &= 54.7 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

### **Bak pengendap**

Efisiensi penyisihan BOD = 25,9%

Efisiensi Penyisihan COD = 24,50%

Masuk ke unit *Anaerobic Filter*

$$Q = 277,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MBOD} &= Q \times \text{BOD} \\
 &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (91,98 \text{ mg/L} / 1000) \\
 &= 7,28 \text{ kg BOD/hari} \\
 \text{MCOD} &= Q \times \text{COD} \\
 &= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (148,19 \text{ mg/L} / 1000) \\
 &= 11,73 \text{ kg COD/hari}
 \end{aligned}$$

### **Produksi Biogas di Bak Pengendap**

Dengan asumsi perhitungan sebesar 70% dari COD yang tersisihkan menjadi gas CH<sub>4</sub> (*methane*), setiap kg COD yang tersisihkan menghasilkan 350 Liter gas methane dan sebesar 50% dari gas metana tersebut larut (Sasse, 1998) maka produksi biogas dari bak pengendap dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biogas Bak pengendap} &= (\text{COD}_{\text{inf}} - \text{COD}_{\text{inf AF}}) \times Q_{\text{ave}} \times 0,35 \\
 &\quad / 1000 / 0,7 \times 0,5 \\
 &= (197,32 \text{ mg/L} - 148,9 \text{ mg/L}) \times 277,2 \\
 &\quad \text{m}^3/\text{hari} \times 0,35/1000 / 0,7 \times 0,5 \\
 &= 3,35 \text{ m}^3 / \text{hari}
 \end{aligned}$$

### Produksi Biogas di unit *Anaerobic Filter*

Dengan asumsi perhitungan sebesar 70% dari COD yang tersisihkan menjadi gas CH<sub>4</sub> (*methane*), setiap kg COD yang tersisihkan menghasilkan 350 Liter gas methane dan sebesar 50% dari gas metana tersebut larut (Sasse, 1998) maka produksi biogas dari *Anaerobic Filter* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Biogas Anaerobic filter} &= (\text{COD}_{\text{inf Anaerobic filter}} - \text{COD}_{\text{eff di Anaerobic filter}}) \times Q_{\text{ave}} \times 0,35 / 1000 \\ &\quad / 0,7 \times 0,5 \\ &= (148,9 \text{ mg/L} - 25,7 \text{ mg/L}) \times 277,2 \\ &\quad \text{m}^3 / \text{hari} \times 0,35 / 1000 / 0,7 \times 0,5 \\ &= 8,54 \text{ m}^3 / \text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Produksi biogas total} &= \text{Biogas bak pengendap} + \text{anaerobic filter} \\ &= 3,35 \text{ m}^3 / \text{hari} + 8,54 \text{ m}^3 / \text{hari} \\ &= 11,89 \text{ m}^3 / \text{hari}\end{aligned}$$

### C. Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan gambaran perbandingan tentang permukaan air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ini dihitung dengan memperkirakan seberapa besar penurunan muka air (*headloss*) akibat adanya gesekan, jatuhnya, belokan, kecepatan air di bangunan, dan akibat adanya gesekan air dengan media. Persamaan yang digunakan untuk mempertimbangkan headloss yang terjadi pada bangunan:

- *Headloss* karena kecepatan aliran
$$H_f = f \frac{L v^2}{4R \cdot 2g}$$
$$f = 1,50 \left( 0,01989 + \frac{0,0005078}{4R} \right)$$
- *Headloss* akibat *perforated baffle*
$$H_f = 0,051 \times K \times v^2$$
- *Headloss* di media filter

$$H_f = 8,9 \times 10^{-5} v x^{-2}$$

- Headloss belokan dan jatuhnya

$$H_f = \left[ \frac{Q}{2(1,86)l} \right]^{2/3}$$

(Marsono,1995)

Dimana:

v = kecepatan aliran di bangunan (m/s)

R = Jari – jari hidrolis (m<sup>2</sup>/m)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

L = Lebar bangunan (m)

K = Konstanta ( K=4; orifice)

x = diameter media maupun tebal (m)

l = panjang aliran di bangunan (m)

Dengan menggunakan persamaan diatas maka didapatkan perhitungan profil hidrolis untuk unit *Anaerobic filter* adalah:

Data awal

Qrata-rata	=	0.001489886	m3/s
Q per orifice ST AF	=	0.000186236	m3/s
Luas orifice ST	=	0.04	m2
Qper orifice AF	=	0.000496629	m3/s
Luas orifice AF	=	0.01	m2
v di media AF	=	2.16837E-05	m/s

Elevasi muka tanah = 0,0 m

Elevasi muka air ST = + 1 m

Muka air di ST	=	+ 1	Muka air
Hf di ST bak 1	=	0,00000012	0,99999988
HF baffle	=	0,00000307	0,99999682
HF di ST bak 2	=	0,00000012	0,99999670
Hf baffle	=	0,00034919	0,99964751

Kompartemen 1 = + 0,999647509244

Hf jatuhan	=	2,78731E-05	0,99961964
Hf belokan	=	4,18096E-05	0,99957783
Hf media	=	2,30624E-09	0,99957782
Hf baffle	=	0,00034919	0,99922863

Kompartemen 2 = + 0,99922863423776

Hf jatuhan	=	2,78731E-05	0,99920076
Hf belokan	=	4,18096E-05	0,99915895
Hf media	=	2,30624E-09	0,99915895
Hf baffle	=	0,00034919	0,99880976

Kompartemen 3 = + 0,99880975923152

Hf jatuhan	=	2,78731E-05	0,99878189
Hf belokan	=	4,18096E-05	0,99874008
Hf media	=	2,30624E-09	0,99874007
Hf baffle	=	0,00034919	0,99839088

= -0.701608907

Kompartemen 4 = + 0,99839088422528

Hf jatuhan	=	2,78731E-05	0,99836301
Hf belokan	=	4,18096E-05	0,99832120
Hf media	=	2,30624E-09	0,99832120
Hf baffle	=	0,00034919	0,99797201

Elevasi akhir = + 0,99797201

Penurunan muka air dari influen ke effluen adalah sebesar 0,00202799 m

### 5.3.3 *Anaerobic Baffled Reactor*

#### A. Perhitungan dimensi

Perhitungan dimensi didasarkan pada kriteria desain bangunan IPAL, menurut Sasse (1998), kriteria desain *Anaerobic Baffled Reactor* adalah:

1. Rasio SS/COD : 0,35 – 0,45
2. HRT di bak pengendap : 1,5 jam
3. *Velocity upflow* : 1,4 - 2 m/jam
4. Panjang kompartemen < 50% - 60% dari tingginya
5. Organic loading : < 3 kg COD/m<sup>3</sup>.hari
6. HRT : ≥ 8 jam
7. Volume lumpur pada bak pengendap ≥ 4 L/m<sup>3</sup> BOD<sub>in</sub> dan pada tangki pertama ≥ 1,4 L/m<sup>3</sup> BOD<sub>rem</sub>

**Diketahui:**

Q<sub>peak</sub> = 277,2 m<sup>3</sup>/hari  
 COD<sub>inf</sub> = 197,32 mg/L  
 BOD<sub>5inf</sub> = 124,25 mg/L

**Direncanakan:**

Suhu pengolahan = 30°C  
 Waktu pengaliran = 24 jam  
 Pengurasan lumpur = 24 bulan  
 Td Bak pengendap = 1,5 jam  
 Rasio SS/COD = 0,42 ---□ 0,35 – 0,45 untuk limbah domestic  
 Organic loading rate = < 3 kg/m<sup>3</sup>.hari

**Dihitung:**

Q per jam = Q<sub>ave</sub> / waktu pengaliran  
 = 277,2 m<sup>3</sup>/hari / 24 jam  
 = 11,55 m<sup>3</sup>/jam  
 Rasio COD/BOD<sub>5</sub> = COD<sub>inf</sub> / BOD<sub>5inf</sub>  
 = 197,32 mg/L / 124,25 mg/L  
 = 1,59

penyisihan COD bak pengendap = rasio SS/COD x (HRT-1) x  
 0,1 x 2 + 0,3  
 = 0,42 x (2-1) x 0,1 x 2 + 0,3  
 = 22,75 %

Perhitungan diatas berkaitan dengan grafik pada Gambar 2.8.  
 Faktor BOD<sub>rem</sub>/COD<sub>rem</sub> ditentukan berdasarkan grafik BOD<sub>rem</sub>/COD<sub>rem</sub> pada Gambar 2.8.

Dari grafik tersebut diketahui dengan nilai CODrem sebesar 22,75 %, maka nilai rasio BODrem/CODrem adalah sebesar 1,06.

$$\begin{aligned}
 \text{Penyisihan BOD}_5 &= \text{rasio BODrem/CODrem} \times \text{penyisihan COD bak pengendap} \\
 &= 1,06 \times 22,75 \% \\
 &= 24,1 \% \\
 \text{CODinf di ABR} &= \text{CODinf} \times (1 - \text{CODrem bak pengendap}) \\
 &= 197,32 \text{ mg/L} \times (1 - 0,2275) \\
 &= 152,42 \text{ mg/L} \\
 \text{BOD5inf di ABR} &= \text{BOD5inf} \times (1 - \text{CODrem bak pengendap}) \\
 &= 124,25 \text{ mg/L} \times (1 - 0,241) \\
 &= 94,28 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan COD Penyisihan

f-overload = nilai f-overload berdasarkan grafik penyisihan BOD akibat organic loading yang berlebih (*overload*) pada Gambar 2.14. Berdasarkan grafik tersebut, dengan organic loading rate yang direncanakan < 3 kg/m<sup>3</sup>.hari maka nilai f-overload adalah **1,0**.

f-strength = berdasarkan grafik f-strength pada Gambar 2.9 maka didapatkan nilai f-strength adalah **0,93**.

f-temp = berdasarkan grafik f-temp pada Gambar 2.15 maka didapatkan nilai f-temp adalah **1,0**.

f-HRT = nilai f-HRT didasarkan pada grafik hubungan antara penyisihan BOD dengan HRT pada Gambar 2.16 Berdasarkan grafik tersebut, dapat diketahui bahwa nilai f-HRT adalah sebesar **0,95**.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ CODpenyisihan ABR} &= f\text{-overload} \times f\text{-strength} \times f\text{-temp} \times f\text{-HRT} \\
 &= 1,0 \times 0,93 \times 1,0 \times 0,95 \\
 &= 86\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD effluen ABR} &= \text{CODinf di Anaerobic filter} \times (1 - \% \text{ CODpenyisihan ABR}) \\
 &= 152,42 \text{ mg/L} \times (1 - 0,86)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 21,01 \text{ mg/L} \\
 \% \text{ CODpenyisihan Total} &= 1 - (\text{COD effluen } \textit{anaerobic filter} / \text{CODinf}) \\
 &= 1 - (21,01 \text{ mg/L} / 197,32 \text{ mg/L}) \\
 &= 89,5\%
 \end{aligned}$$

Faktor penyisihan BOD/COD = berdasarkan kurva rasio BODrem/CODrem, dengan memasukkan nilai persentase CODrem sebesar 86%, maka nilai faktor penyisihan BOD/COD adalah sebesar **1,025**.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ BOD5 penyisihan total} &= \% \text{ CODpenyisihan Total} \times \text{Faktor penyisihan BOD/COD} \\
 &= 89,5 \times 1,025 \\
 &= 92 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{BOD5 effluen ABR} &= (1 - \% \text{ BOD5 penyisihan total}) \times \text{BOD5inf} \\
 &= (1 - 92\%) \times 248,5 \text{ mg/L} \\
 &= 94,28 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan Dimensi Bak Pengendap**

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar dalam} &= 4 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Vupflow maksimal} &= 1,8 \text{ m / jam} \\
 \text{Hair minimum di Inlet} &= 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dihitung:

$$\begin{aligned}
 \text{Lumpur akumulasi} &= 0,005 \times (1 - (\text{interval pengurasan} \times 0,014)) \\
 &= 0,005 \times (1 - (24 \times 0,014)) \\
 &= 0,003332 \text{ L/g. COD} \\
 \text{Panjang bak} &= 3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **Perhitungan dimensi *Anaerobic baffled reactor***

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Permukaan kompartemen} &= Q_{\text{peak}} / \text{kecepatan upflow} \\
 &= 11,55 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang Kompartemen} &= 0,5 \times \text{kedalaman}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 \text{ m} \\
 \text{Lebar Kompartemen} &= \text{Luas permukaan} \\
 &\quad \text{kompartemen/panjang} \\
 &\quad \text{kompartemen} \\
 &= 11,55 \text{ m} \\
 &= 11,6 \text{ m} \\
 \text{Volume satu} &= (\text{p kompartemen} + \text{p shaft}) \times l \times t \\
 \text{kompartemen} &= 29 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume ABR} &= Q_{\text{peak}} \times \text{HRT} \\
 \text{direncanakan} &= 277,2 \text{ m}^3 \\
 \text{Jumlah} &= \text{Vol.ABR/Vol.satu kompartemen} \\
 \text{kompartemen} &= 9,558621 \text{ buah} \\
 &= 10 \text{ buah} \\
 \text{Volume efektif ABR} &= \text{Jumlah kompartemen} \times (\text{p komp} + \text{p} \\
 &\quad \text{shaft}) \times l \times t \\
 &= 290 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

## B. Mass Balance

Perhitungan kesetimbangan massa diperlukan untuk mengetahui proses yang terjadi pada setiap unit. Perhitungan *mass balance* untuk unit ABR ini sebagai berikut:

### Influen

Masuk ke unit Bak pengendap

$$Q = 277,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{MBOD} = Q \times \text{BOD}$$

$$= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (124,25 \text{ mg/L} / 1000)$$

$$= 16 \text{ kg BOD/hari}$$

$$\text{MCOD} = Q \times \text{COD}$$

$$= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (197,32 \text{ mg/L} / 1000)$$

$$= 25,4 \text{ kg COD/hari}$$

### Bak pengendap

Efisiensi penyisihan BOD = 24,1%

Efisiensi Penyisihan COD = 22,75%

Masuk ke unit *Anaerobic Filter*

$$Q = 277,2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{MBOD} = Q \times \text{BOD}$$

$$= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (94,28 \text{ mg/L} / 1000)$$

$$= 12,13 \text{ kg BOD/hari}$$

$$\text{MCOD} = Q \times \text{COD}$$

$$= 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times (152,42 \text{ mg/L} / 1000)$$

$$= 19,6 \text{ kg COD/hari}$$

### Produksi Biogas *Anaerobic Baffled Reactor*

Dengan asumsi perhitungan sebesar 70% dari COD yang tersisihkan menjadi gas  $\text{CH}_4$  (*methane*), setiap kg COD yang tersisihkan menghasilkan 350 Liter gas methane dan sebesar 50% dari gas metana tersebut larut (Sasse, 1998) maka produksi biogas dari ABR dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biogas ABR} &= (\text{COD}_{\text{inf}} - \text{COD}_{\text{out ABR}}) \times Q_{\text{ave}} \times 0,35 / \\ &\quad 1000 / 0,7 \times 0,5 \\ &= (197,32 \text{ mg/L} - 21,01 \text{ mg/L}) \times 277,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &\quad \times 0,35/1000/ 0,7 \times 0,5 \\ &= 12,21 \text{ m}^3 / \text{hari} \end{aligned}$$

### C. Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan gambaran perbandingan tentang permukaan air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ini dihitung dengan memperkirakan seberapa besar penurunan muka air (*headloss*) akibat adanya gesekan, jatuhan, belokan, kecepatan air di bangunan, dan akibat adanya gesekan air dengan media. Persamaan yang digunakan untuk mempertimbangkan headloss yang terjadi pada bangunan:

- *Headloss* karena kecepatan aliran

$$H_f = f \frac{L v^2}{4R 2g}$$

$$f = 1,50 \left( 0,01989 + \frac{0,0005078}{4R} \right)$$

- Headloss akibat *perforated baffle*

$$H_f = 0,051 \times K \times v^2$$

- Headloss akibat aliran upflow

$$H_f = 8,9 \times 10^{-5} v \times v^2$$

- Headloss belokan dan jatuhan

$$H_f = \left[ \frac{Q}{2(1,86)l} \right]^{2/3}$$

(Marsono, 1995)

Dengan menggunakan persamaan diatas maka didapatkan perhitungan profil hidrolis untuk unit *Anaerobic Baffled reactor* adalah:

#### Data Awal

Q rata-rata	=	0.001489886	m <sup>3</sup> /s
Q per orifice ST ABR	=	0.000124157	m <sup>3</sup> /s
Luas orifice ST	=	0.04	m <sup>2</sup>
Q per orifice ABR	=	0.000248314	m <sup>3</sup> /s
Luas orifice ABR	=	0.01	m <sup>2</sup>

Elevasi muka tanah = 0,0 m

Elevasi muka air ST = + 1,0 m

Muka air di ST	=	+ 1	Muka air
HF di ST	=	1,25708E-08	0,99999999
Hf baffle	=	2,18244E-05	0,99997816

Kompartemen 1	=	0,999978163
Hf jatuhan	=	1,08879E-07 0,99997805
Hf belokan	=	1,63319E-07 0,99997789
Hf upflow	=	1,20977E-06 0,99997668

Hf baffle = 8,72975E-05 0,99988938

Kompartemen 2 = 0,999889384

Hf jatuhan = 1,08879E-07 0,99988927

Hf belokan = 1,63319E-07 0,99988911

Hf media = 1,20977E-06 0,99988790

Hf baffle = 8,72975E-05 0,99980060

Kompartemen 3 = 0,999800604

Hf jatuhan = 1,08879E-07 0,99980050

Hf belokan = 1,63319E-07 0,99980033

Hf media = 1,20977E-06 0,99979912

Hf baffle = 8,72975E-05 0,99971182

Kompartemen 4 = 0,999711825

Hf jatuhan = 1,08879E-07 0,99971172

Hf belokan = 1,63319E-07 0,99971155

Hf media = 1,20977E-06 0,99971034

Hf baffle = 8,72975E-05 0,99962305

Kompartemen 5 = 0,999623045

Hf jatuhan = 1,08879E-07 0,99962294

Hf belokan = 1,63319E-07 0,99962277

Hf media = 1,20977E-06 0,99962156

Hf baffle = 8,72975E-05 0,99953427

Kompartemen 6 = 0,999534266

Hf jatuhan = 1,08879E-07 0,99953416

Hf belokan = 1,63319E-07 0,99953399

Hf media = 1,20977E-06 0,99953278

$$H_f \text{ baffle} = 8,72975E-05 \quad 0,99944549$$

$$\text{Kompartemen 7} = 0,999445486$$

$$H_f \text{ jatuhan} = 1,08879E-07 \quad 0,99944538$$

$$H_f \text{ belokan} = 1,63319E-07 \quad 0,99944521$$

$$H_f \text{ media} = 1,20977E-06 \quad 0,99944400$$

$$H_f \text{ baffle} = 8,72975E-05 \quad 0,99935671$$

$$\text{Kompartemen 8} = 0,999356707$$

$$H_f \text{ jatuhan} = 1,08879E-07 \quad 0,99935660$$

$$H_f \text{ belokan} = 1,63319E-07 \quad 0,99935643$$

$$H_f \text{ media} = 1,20977E-06 \quad 0,99935522$$

$$H_f \text{ baffle} = 8,72975E-05 \quad 0,99926793$$

$$\text{Kompartemen 9} = 0,999267927$$

$$H_f \text{ jatuhan} = 1,08879E-07 \quad 0,99926782$$

$$H_f \text{ belokan} = 1,63319E-07 \quad 0,99926766$$

$$H_f \text{ media} = 1,20977E-06 \quad 0,99926645$$

$$H_f \text{ baffle} = 8,72975E-05 \quad 0,99917915$$

$$\text{Kompartemen 10} = 0,999179148$$

$$H_f \text{ jatuhan} = 1,08879E-07 \quad 0,99917904$$

$$H_f \text{ belokan} = 1,63319E-07 \quad 0,99917888$$

$$H_f \text{ media} = 1,20977E-06 \quad 0,99917767$$

$$H_f \text{ baffle} = 8,72975E-05 \quad 0,99909037$$

$$\text{Elevasi Akhir} = + 0,99909037$$

Penurunan muka air dari influen ke effluen adalah sebesar 0,00090963 m.

## 5.4 BOQ dan RAB

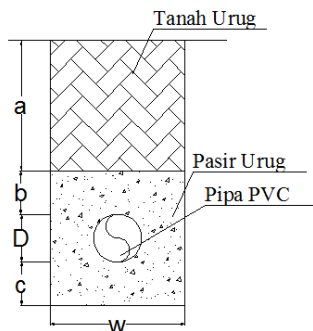
Setelah proses menggambar desain unit IPAL, selanjutnya adalah menghitung kebutuhan bahan serta menyusun Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai pertimbangan pemilihan unit IPAL.

Proses perhitungan rencana anggaran biaya didasarkan pada SNI DT-91-xxx-2007 series tentang pekerjaan bangunan dan HSPK kota Surabaya tahun 2015. Proses perhitungan menggunakan program *Microsoft excel 2007*.

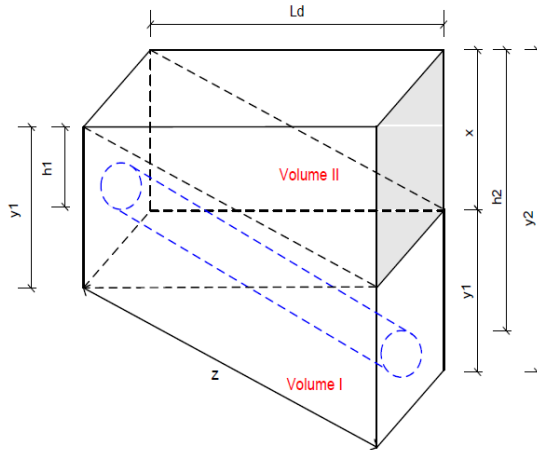
Berikut adalah hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya Tahap Konstruksi untuk unit IPAL *Anaerobic filter* dan ABR.

### 5.4.1 BOQ Pipa

BOQ pipa terdiri dari jumlah pipa dan pekerjaan pipa seperti volume galian dan volume tanah urug yang digunakan. Penggalan pipa direncanakan seperti **Gambar 5.8**. Diketahui bahwa,  $w$  adalah lebar galian dengan penentuan yaitu diameter pipa ditambah 10 cm sebelah kanan dan kiri pipa yang nantinya samping pipa diberi pasir urug,  $a$  dan  $c$  adalah tinggi urugan tanah, dalam perencanaan ini dan direncanakan nilai  $a$  dan  $c$  sebesar 10 cm. Bentuk galian yang direncanakan dapat dilihat pada **Gambar 5.9**.



**Gambar 5.8** Galian Normal Pipa Penyalur Air Limbah



**Gambar 5.9** Bentuk Galian yang Direncanakan

Gambar bentuk galian yang direncanakan sepanjang pipa, dapat dihitung Bill Of Quantity (BOQ) untuk galian pipa adalah sebagai berikut :

- $D$  = diameter pipa.
- $h$  = kedalaman penanaman pipa.
- $h_1$  = kedalaman penanaman pipa awal.
- $h_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir.
- $y$  = kedalaman galian =  $h + c$ .
- $y_1$  = kedalaman galian awal.
- $y_2$  = kedalaman galian akhir.
- $x = y_2 - y_1$
- $z = [(y_2) + (L \text{ pipa}_2)]^{1/2}$
- Volume galian I =  $[(0,1 \times 2) + D] \times y_1 \times z$
- Volume galian II =  $\frac{1}{2} [(0,1 \times 2) + D] \times x \times z$
- Volume galian total = Volume galian I + Volume galian II
- Volume pipa =  $0,25 \times \pi D^2 \times z$
- Volume urugan pasir =  $[D + (0,1 \times 2)] \times (b + D + c) \times z - \text{Volume pipa}$
- Volume Sisa Tanah Galian = Volume galian total – Volume urugan pasir



No	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	Panjang Pipa per batang (m)	Jumlah Pipa (buah)	
				1"	2"
1	A-B	60	4	15	
2	C-D	60	4	15	
3	E-F	60	4	15	
4	G-H	60	4	15	
5	H-F	22	4	6	
6	F-D	4	4	1	
7	D-B	22	4	6	
8	B-I	6	4	2	
9	I-J	75	4	19	
10	K-L	60	4	15	
11	M-N	60	4	15	
12	O-P	60	4	15	
13	P-N	22	4	6	
14	N-L	4	4	1	
	L-J	22	4	6	
16	J-Q	5	4	1	
17	R-S	60	4	15	
18	T-U	60	4	15	
19	U-S	22	4	6	
20	S-Q	10	4	3	
21	Q-V	9	4	2	
22	a-b	20	4		5
23	b-c	20	4		5
24	c-f	135	4		34
25	d-e	20	4		5
26	e-f	10	4		3
27	f-i	5	4		1
28	g-h	8	4		2
29	h-i	10	4		3
30	i-j	4	4		1

Data volume galian dan kebutuhan pipa yang telah didapatkan digunakan untuk menghitung RAB perpipaan, seperti pada tabel 5.6 berikut ini:

**Tabel 5.6** Rencana Anggaran Biaya Perpipaan

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga	
1	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi SNI 2835:2008 (6.1)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	363,214	Rp	2,613	Rp 948,898
	Pembantu Tukang	O.H	363,214	Rp	53,625	Rp 19,477,376
2	Pemasangan Pipa (PVC) Air Kotor tipe AW diameter 1" SNI 2002 Pekerjaan Sanitasi (6.32)					
	Upah:					
	Mandor	O.H	232,000	Rp	188	Rp 43,639
	Kepala Tukang Batu	O.H	232,000	Rp	597	Rp 138,504
	Tukang Batu	O.H	232,000	Rp	4,524	Rp 1,049,568
	Pembantu Tukang	O.H	232,000	Rp	2,574	Rp 597,168
	Bahan:					
	Pipa PVC 1" type C Panjang 4 m	batang	58,000	Rp	7,989	Rp 463,362
	F Perlengkapan 35% harga pipa	buah	58,000	Rp	839	Rp 48,653

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga
3	Pemasangan Pipa (PVC) Air Kotor tipe AW diameter 2" SNI 2002 Pekerjaan Sanitasi (6.32)					
	Upah:					
	Mandor	O.H	763,00	Rp	282	Rp 215,280
	Kepala Tukang Batu	O.H	763,00	Rp	896	Rp 683,267
	Tukang Batu	O.H	763,00	Rp	6,786	Rp 5,177,718
	Pembantu Tukang	O.H	763,00	Rp	3,861	Rp 2,945,943
	Bahan:					
	Pipa PVC 2" type C Panjang 4 m	batang	190,75	Rp	11,722	Rp 2,235,972
	F Perlengkapan 35% harga pipa	buah	190,75	Rp	1,231	Rp 234,777
4	Pengurugan 1 m3 Tanah Kembali untuk Konstruksi SNI 03-2835-2002 (6.8)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	314,211	Rp	1,986	Rp 623,866
	Pembantu Tukang	O.H	314,211	Rp	7,293	Rp 2,291,540
5	Pengurugan Pasir SNI 2835:2008 (6.11)					

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	Upah :						
	Mandor	O.H	314,211	Rp	104,500	Rp	32,835,031
	Pembantu Tukang	O.H	314,211	Rp	71,500	Rp	22,466,074
	Bahan:						
	Pasir Urug	m3	314,211	Rp	115,000	Rp	36,134,244
	Total Biaya					Rp	128,610,879

#### 5.4.1 BOQ IPAL

BOQ IPAL terdiri dari pekerjaan tanah dan pembetonan. BOQ IPAL untuk masing –masing unit dapat dilihat pada tabel berikut ini:

**Tabel 5.7 BOQ Bak Ekualisasi**

No	Pekerjaan	Unit	Rumus	Vol
1	Volume Galian	m <sup>3</sup>	PxLxT	16,128
2	Volume Beton Dinding	m <sup>3</sup>	(Pdin. X Ldin. X Tdin. x 4) - 4 diameter pipa inlet	6,032
3	Volume Lantai Kerja K-100	m <sup>3</sup>	Plan. X Llan. X Tlan.	1,352
4	Pembersihan Lahan	m <sup>2</sup>	Psaluran x Lsaluran	4,840

**Tabel 5.7 BOQ ABR**

No	Pekerjaan	Satuan	Rumus	Volume
1	Volume Galian	m <sup>3</sup>	PxLxT	189,060
2	Volume Beton Dinding Settler	m <sup>3</sup>	((Pdin1. X Ldin1. X Tdin. ) - 1 diameter pipa inlet )+((Pdin1. X Ldin1. X Tdin1. ) - inlet baffled )+(2x(Pdin2. X Ldin2. X Tdin2. )	7,200
3	Volume Lantai Kerja K-100 Settler	m <sup>3</sup>	Plan. X Llan. X Tlan.	4,752
4	Volume Beton Atap Settler	m <sup>3</sup>	(Patap x L atap x Tatap)-manhole	4,752
5	Volume Beton Dinding Kompartemen	m <sup>3</sup>	((Pdin. X Ldin. X Tdin.) - inlet baffled)*3)+((Pdin. X Ldin. X Tdin.) - pipa outlet))	123,360

No	Pekerjaan	Satuan	Rumus	Volume
6	Volume Beton Baffle Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(P_{baf} \times L_{baf} \times T_{baf}) \times 4$	28,500
7	Volume Beton Alas Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(Plan. \times Llan. \times Tlan.) \times 4$	33,060
8	Volume Beton Atap Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(Patap \times L_{atap} \times T_{atap}) - \text{manhole} \times 4$	33,060
9	Pembersihan Lahan	m <sup>2</sup>	$P_{abr} \times L_{abr}$	189,060

**Tabel 5.8 BOQ AF**

No	Pekerjaan	Satuan	Rumus	Volume
1	Volume Galian	m <sup>3</sup>	$P \times L \times T$	189,980
2	Volume Beton Dinding Settler	m <sup>3</sup>	$((P_{din1.} \times L_{din1.} \times T_{din.}) - 1 \text{ diameter pipa inlet}) + ((P_{din1.} \times L_{din1.} \times T_{din1.}) - \text{inlet baffled}) + (2 \times (P_{din2.} \times L_{din2.} \times T_{din2.}))$	9,984
3	Volume Lantai Kerja K-100 Settler	m <sup>3</sup>	$Plan. \times Llan. \times Tlan.$	5,632
4	Volume Beton Atap Settler	m <sup>3</sup>	$(Patap \times L_{atap} \times T_{atap}) - \text{manhole}$	5,632

No	Pekerjaan	Satuan	Rumus	Volume
5	Volume Beton Dinding Kompartemen	m <sup>3</sup>	$((P_{din.} \times L_{din.} \times T_{din.}) - \text{inlet baffled}) \times 3 + ((P_{din.} \times L_{din.} \times T_{din.}) - \text{pipa outlet})$	88,512
6	Volume Beton Baffle Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(P_{baf} \times L_{baf} \times T_{baf}) \times 4$	11,400
7	Volume Beton Alas Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(Plan. \times Llan. \times Tlan.) \times 4$	32,364
8	Volume Beton Atap Kompartemen	m <sup>3</sup>	$(Patap \times L_{atap} \times T_{atap}) - \text{manhole} \times 4$	32,364
9	Pembersihan Lahan	m <sup>2</sup>	$P_{abr} \times L_{abr}$	189,980

Hasil perhitungan BOQ diatas dapat digunakan untuk menghitung anggaran sesuai dengan volume kegiatan pekerjaan. Hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya bisa dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.9** RAB Bak Ekualisasi

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga
1	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi SNI 2835:2008 (6.1) Upah :				
	Mandor	O.H	16,128	Rp 2,613	Rp 42,134
	Pembantu Tukang	O.H	16,128	Rp 53,625	Rp 864,864
2	Pekerjaan Dinding 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting) SNI 7394:2008 (6.33) Upah :				
	Mandor	O.H	6,032	Rp 27,693	Rp 167,041
	Kepala Tukang Besi	O.H	6,032	Rp 26,069	Rp 157,248
	Tukang Besi	O.H	6,032	Rp 79,170	Rp 477,553
	Tukang Batu	O.H	6,032	Rp 20,735	Rp 125,074
	Tukang Kayu	O.H	6,032	Rp 98,020	Rp 591,257
	Pembantu Tukang	O.H	6,032	Rp 378,950	Rp 2,285,826
	Bahan:				
	Semen portland (40kg)	zak	6,032	Rp 554,400	Rp 3,344,141
	Pasir Beton	m3	6,032	Rp 93,150	Rp 561,881
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	6,032	Rp 231,660	Rp 1,397,373



No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	6,032	Rp	1,653,750	Rp	9,975,420
	Kawat Beton	kg	6,032	Rp	60,750	Rp	366,444
	Kayu meranti bekisting	m3	6,032	Rp	869,400	Rp	5,244,221
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	6,032	Rp	924,800	Rp	5,578,394
	Plywood tebal 9 mm	lembar	6,032	Rp	262,080	Rp	1,580,867
	Paku Usuk	kg	6,032	Rp	60,800	Rp	366,746
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	6,032	Rp	11,200	Rp	67,558
3	Pekerjaan Lantai Beton K-100 SNI 7394:2008 (6.1)						
	Upah :						
	Pembantu Tukang	O.H	1,352	Rp	117,975	Rp	159,502
	Tukang Batu	O.H	1,352	Rp	25,245	Rp	34,131
	Kepala Tukang Batu	O.H	1,352	Rp	2,772	Rp	3,748
	Mandor	O.H	1,352	Rp	8,674	Rp	11,727
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	1,352	Rp	390,260	Rp	527,632
	Pasir Beton	m3	1,352	Rp	91,784	Rp	124,092
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	1,352	Rp	150,905	Rp	204,023
4	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan						

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	SNI 03-2835-2002 (6.8)						
	Upah:						
	Mandor	O.H	4,840	Rp	2,613	Rp	12,645
	Pembantu Tukang	O.H	4,840	Rp	3,575	Rp	17,303
5	Pemasangan Pompa						
	Bahan:						
	Pompa Ebara DWM Vox 75	unit	1,000	Rp	6,754,929	Rp	6,754,929
Total Biaya						Rp	41,043,772

**Tabel 5.9 RAB ABR**

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
1	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi						
	SNI 2835:2008 (6.1)						
	Upah :						
	Mandor	O.H	189,060	Rp	2,613	Rp	493,919
	Pembantu Tukang	O.H	189,060	Rp	53,625	Rp	10,138,343
2	Pekerjaan Dinding 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting)						

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	SNI 7394:2008 (6.33)						
	Upah :						
	Mandor	O.H	130,560	Rp	27,693	Rp	3,615,533
	Kepala Tukang Besi	O.H	130,560	Rp	26,069	Rp	3,403,569
	Tukang Besi	O.H	130,560	Rp	79,170	Rp	10,336,435
	Tukang Batu	O.H	130,560	Rp	20,735	Rp	2,707,162
	Tukang Kayu	O.H	130,560	Rp	98,020	Rp	12,797,491
	Pembantu Tukang	O.H	130,560	Rp	378,950	Rp	49,475,712
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	130,560	Rp	554,400	Rp	72,382,464
	Pasir Beton	m3	130,560	Rp	93,150	Rp	12,161,664
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	130,560	Rp	231,660	Rp	30,245,530
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	130,560	Rp	1,653,750	Rp	215,913,600
	Kawat Beton	kg	130,560	Rp	60,750	Rp	7,931,520
	Kayu meranti bekisting	m3	130,560	Rp	869,400	Rp	113,508,864
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	130,560	Rp	924,800	Rp	120,741,888
	Plywood tebal 9 mm	lembar	130,560	Rp	262,080	Rp	34,217,165
	Paku Usuk	kg	130,560	Rp	60,800	Rp	7,938,048
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	130,560	Rp	11,200	Rp	1,462,272

### 3 Pekerjaan Atap Beton K-100

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	SNI 7394:2008 (6.1)						
	Upah :						
	Pembantu Tukang	O.H	37,812	Rp	117,975	Rp	4,460,871
	Tukang Batu	O.H	37,812	Rp	25,245	Rp	954,564
	Kepala Tukang Batu	O.H	37,812	Rp	2,772	Rp	104,815
	Mandor	O.H	37,812	Rp	8,674	Rp	327,962
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	37,812	Rp	390,260	Rp	14,756,511
	Pasir Beton	m3	37,812	Rp	91,784	Rp	3,470,533
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	37,812	Rp	150,905	Rp	5,706,005
4	Pekerjaan Beton Lantai K-225						
	SNI 7394:2008 (6.7)						
	Upah :						
	Pembantu Tukang	O.H	37,812	Rp	117,975	Rp	4,460,871
	Tukang Batu	O.H	37,812	Rp	25,245	Rp	954,564
	Kepala Tukang Batu	O.H	37,812	Rp	2,772	Rp	104,815
	Mandor	O.H	37,812	Rp	8,674	Rp	327,962
	Bahan:						

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	Semen portland (40kg)	zak	37,812	Rp	586,180	Rp	22,164,638
	Pasir Beton	m3	37,812	Rp	73,735	Rp	2,788,056
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	37,812	Rp	158,166	Rp	5,980,561
5	Pekerjaan Pembesian Atap dengan besi beton (polos/ulir)						
	Upah:						
	Pembantu Tukang	O.H	37,812	Rp	501	Rp	18,925
	Tukang Besi	O.H	37,812	Rp	655	Rp	24,748
	Kepala Tukang Besi	O.H	37,812	Rp	69	Rp	2,620
	Mandor	O.H	37,812	Rp	42	Rp	1,581
	Bahan:						
	Besi Beton (polos) dia 6mm	Kg	37,812	Rp	9,555	Rp	361,294
	Kawat Beton	Kg	37,812	Rp	345	Rp	13,045
6	Pekerjaan Baffled 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting) SNI 7394:2008 (6.33)						
	Upah :						
	Mandor	O.H	28,500	Rp	27,693	Rp	789,236
	Kepala Tukang Besi	O.H	28,500	Rp	26,069	Rp	742,967
	Tukang Besi	O.H	28,500	Rp	79,170	Rp	2,256,345
	Tukang Batu	O.H	28,500	Rp	20,735	Rp	590,948

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	Tukang Kayu	O.H	28,500	Rp	98,020	Rp	2,793,570
	Pembantu Tukang	O.H	28,500	Rp	378,950	Rp	10,800,075
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	28,500	Rp	554,400	Rp	15,800,400
	Pasir Beton	m3	28,500	Rp	93,150	Rp	2,654,775
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	28,500	Rp	231,660	Rp	6,602,310
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	28,500	Rp	1,653,750	Rp	47,131,875
	Kawat Beton	kg	28,500	Rp	60,750	Rp	1,731,375
	Kayu meranti bekisting	m3	28,500	Rp	869,400	Rp	24,777,900
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	28,500	Rp	924,800	Rp	26,356,800
	Plywood tebal 9 mm	lembar	28,500	Rp	262,080	Rp	7,469,280
	Paku Usuk	kg	28,500	Rp	60,800	Rp	1,732,800
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	28,500	Rp	11,200	Rp	319,200
7	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan SNI 03-2835-2002 (6.8)						
	Upah:						
	Mandor	O.H	189,060	Rp	2,613	Rp	493,919
	Pembantu Tukang	O.H	189,060	Rp	3,575	Rp	675,890
Total Biaya						Rp	930,175,783

**Tabel 5.10 RAB AF**

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
1	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi SNI 2835:2008 (6.1)						
	Upah :						
	Mandor	O.H	189,980	Rp	2,613	Rp	496,323
	Pembantu Tukang	O.H	189,980	Rp	53,625	Rp	10,187,678
2	Pekerjaan Dinding 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting) SNI 7394:2008 (6.33)						
	Upah :						
	Mandor	O.H	98,496	Rp	27,693	Rp	2,727,600
	Kepala Tukang Besi	O.H	98,496	Rp	26,069	Rp	2,567,692
	Tukang Besi	O.H	98,496	Rp	79,170	Rp	7,797,928
	Tukang Batu	O.H	98,496	Rp	20,735	Rp	2,042,315
	Tukang Kayu	O.H	98,496	Rp	98,020	Rp	9,654,578
	Pembantu Tukang	O.H	98,496	Rp	378,950	Rp	37,325,059
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	98,496	Rp	554,400	Rp	54,606,182
	Pasir Beton	m3	98,496	Rp	93,150	Rp	9,174,902
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	98,496	Rp	231,660	Rp	22,817,583

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	98,496	Rp 1,653,750	Rp 162,887,760
	Kawat Beton	kg	98,496	Rp 60,750	Rp 5,983,632
	Kayu meranti bekisting	m3	98,496	Rp 869,400	Rp 85,632,422
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	98,496	Rp 924,800	Rp 91,089,101
	Plywood tebal 9 mm	lembar	98,496	Rp 262,080	Rp 25,813,832
	Paku Usuk	kg	98,496	Rp 60,800	Rp 5,988,557
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	98,496	Rp 11,200	Rp 1,103,155
3	Pekerjaan Atap Beton K-100 SNI 7394:2008 (6.1) Upah :				
	Pembantu Tukang	O.H	37,996	Rp 117,975	Rp 4,482,578
	Tukang Batu	O.H	37,996	Rp 25,245	Rp 959,209
	Kepala Tukang Batu	O.H	37,996	Rp 2,772	Rp 105,325
	Mandor	O.H	37,996	Rp 8,674	Rp 329,558
	Bahan:				
	Semen portland (40kg)	zak	37,996	Rp 390,260	Rp 14,828,319
	Pasir Beton	m3	37,996	Rp 91,784	Rp 3,487,421
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	37,996	Rp 150,905	Rp 5,733,771

4 Pekerjaan Beton Lantai K-225

100



No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan		Harga	
	SNI 7394:2008 (6.7)						
	Upah :						
	Pembantu Tukang	O.H	37,996	Rp	117,975	Rp	4,482,578
	Tukang Batu	O.H	37,996	Rp	25,245	Rp	959,209
	Kepala Tukang Batu	O.H	37,996	Rp	2,772	Rp	105,325
	Mandor	O.H	37,996	Rp	8,674	Rp	329,558
	Bahan:						
	Semen portland (40kg)	zak	37,996	Rp	586,180	Rp	22,272,495
	Pasir Beton	m3	37,996	Rp	73,735	Rp	2,801,624
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	37,996	Rp	158,166	Rp	6,009,664
5	Pekerjaan Pembesian Atap dengan besi beton (polos/ulir)						
	Upah:						
	Pembantu Tukang	O.H	37,996	Rp	501	Rp	19,017
	Tukang Besi	O.H	37,996	Rp	655	Rp	24,868
	Kepala Tukang Besi	O.H	37,996	Rp	69	Rp	2,633
	Mandor	O.H	37,996	Rp	42	Rp	1,588
	Bahan:						
	Besi Beton (polos) dia 6mm	Kg	37,996	Rp	9,555	Rp	363,052

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga
	Kawat Beton	Kg	37,996	Rp 345	Rp 13,109
6	Pekerjaan Baffled 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting) SNI 7394:2008 (6.33) Upah :				
	Mandor	O.H	11,400	Rp 27,693	Rp 315,695
	Kepala Tukang Besi	O.H	11,400	Rp 26,069	Rp 297,187
	Tukang Besi	O.H	11,400	Rp 79,170	Rp 902,538
	Tukang Batu	O.H	11,400	Rp 20,735	Rp 236,379
	Tukang Kayu	O.H	11,400	Rp 98,020	Rp 1,117,428
	Pembantu Tukang	O.H	11,400	Rp 378,950	Rp 4,320,030
	Bahan:				
	Semen portland (40kg)	zak	11,400	Rp 554,400	Rp 6,320,160
	Pasir Beton	m3	11,400	Rp 93,150	Rp 1,061,910
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	11,400	Rp 231,660	Rp 2,640,924
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	11,400	Rp 1,653,750	Rp 18,852,750
	Kawat Beton	kg	11,400	Rp 60,750	Rp 692,550
	Kayu meranti bekisting	m3	11,400	Rp 869,400	Rp 9,911,160
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	11,400	Rp 924,800	Rp 10,542,720
	Plywood tebal 9 mm	lembar	11,400	Rp 262,080	Rp 2,987,712
	Paku Usuk	kg	11,400	Rp 60,800	Rp 693,120

No	Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Harga		
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	11,400	Rp	11,200	Rp	127,680
7	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan SNI 03-2835-2002 (6.8)						
	Upah:						
	Mandor	O.H	189,980	Rp	2,613	Rp	496,323
	Pembantu Tukang	O.H	189,980	Rp	3,575	Rp	679,179
8	Pemasangan Media Filter						
	Bahan:						
	Media Filter (1x1x1 m3)	m3	132,800	Rp	2,254,511	Rp	299,399,076
Total Biaya						Rp	966,801,721

Dari hasil perhitungan diatas diketahui bahwa biaya yang dibutuhkan untuk membangun unit IPAL *Anaerobic Baffled Reactor* adalah sebesar **Rp930,175,783,-**. Sedangkan biaya yang dibutuhkan untuk membangun IPAL *Anaerobic Filter* adalah **Rp 966,801,721,-**.

#### **F. Biaya Operasional dan Maintenance**

Operasi dan Pemeliharaan juga membutuhkan biaya. Adapun rincian biaya operasi dan pemeliharaan (*Operation and Maintenance Cost*) meliputi beberapa hal seperti tabel berikut.

**Tabel 5.7 Biaya Operasional dan Maintenance Unit ABR**

No	Kebutuhan	Keterangan	Biaya/tahun
1	Operator	Lulusan SMK, pekerjaan tidak tetap. 2 hari/minggu selama 5 tahun	Rp 48.000.000,-
2	Listrik	2.8 kW untuk pompa resirkulasi selama 5 tahun	Rp 134.334.720,-
3	Pengurasan Lumpur	Pengurasan dilakukan 1 tahun sekali	Rp 4.000.000,-
4	Sampling Effluen	3 titik, masing-masing titik 3 parameter. Dilakukan sebulan sekali.	Rp 54.000.000,-
5	Peralatan Pembersih	Tongkat, sikat, kain	Rp 1.800.000,-
6	Perbaikan pompa	Pengecekan dan	Rp 1.000.000,-

No	Kebutuhan	Keterangan	Biaya/tahun
		perawatan pompa dilakukan setahun sekali.	
<b>Biaya Operasional 5 tahun</b>			<b>Rp 243.134.720,-</b>
<b>Biaya Operasional per Bulan</b>			<b>Rp 4.052.245,-</b>

**Tabel 5.8 Biaya Operasional dan Maintenance Unit Anaerobic Filter**

No	Kebutuhan	Keterangan	Biaya/tahun
1	Operator	Lulusan SMK, pekerjaan tidak tetap. 2 hari/minggu selama 5 tahun	Rp 48.000.000,-
2	Listrik	2.8 kW untuk pompa resirkulasi selama 5 tahun	Rp 134.334.720,-
3	Pengurasan Lumpur dan Pembersihan Media	Pengurasan dilakukan 1 tahun sekali	Rp 6.000.000,-
4	Sampling Effluen	3 titik, masing-masing titik 3 parameter. Dilakukan sebulan sekali.	Rp 54.000.000,-
5	Peralatan Pembersih	Tongkat, sikat, kain	Rp 1.800.000,-
6	Perbaikan pompa	Pengecekan dan	Rp 1.000.000,-

No	Kebutuhan	Keterangan	Biaya/tahun
		perawatan pompa dilakukan setahun sekali.	
<b>Biaya Operasional 5 tahun</b>			<b>Rp 245.134.720,-</b>
<b>Biaya Operasional per Bulan</b>			<b>Rp 4.085.579,-</b>

## 5.5 Perbandingan kelebihan dan kekurangan masing-masing unit IPAL

Pada subbab ini akan menjelaskan perbandingan kelebihan dan kekurangan masing-masing unit IPAL dengan membandingkan parameter-parameter desain meliputi volume, luas lahan, effluen air limbah untuk parameter BOD dan COD, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang dibutuhkan.

### A. Volume dan Luas Lahan Bangunan

Volume bangunan meliputi unit IPAL *Anaerobic filter* dan *Anaerobic baffled reactor*. Perlu diketahui bahwa masing-masing unit IPAL terintegrasi dengan Bak pengendap sebagai pengendap awal (*Primary Settlement*) sehingga perhitungan volume bangunannya pun sudah termasuk volume bangunan Bak pengendap. Berikut adalah hasil perbandingan volume bangunan kedua unit IPAL.

**Tabel 5.9 Perbandingan Volume dan Luas Lahan Kedua Jenis IPAL**

	ABR	AF
Volume (m3)	290	282,2
Panjang (m)	10	16
Lebar (m)	11,6	8,3

	ABR	AF
Tinggi (m)	2	2
Luas Lahan (m <sup>2</sup> )	116	132,8

## B. Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan merupakan faktor yang penting dalam perencanaan unit IPAL. Parameter yang digunakan adalah COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*). Berikut ini adalah hasil rangkuman efisiensi penyisihan dan *effluent* dari kedua unit IPAL.

**Tabel 5.10 Perbandingan Efisiensi Penyisihan BOD dan COD Kedua Jenis IPAL**

Unit	Efisiensi Penyisihan	
	BOD	COD
Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	92%	89,50%
Anaerobic Filter (AF)	92,4%	90,1%

**Tabel 5.10 Perbandingan *Effluent* BOD dan COD Kedua Jenis IPAL**

Unit	Effluent		Baku Mutu	
	BOD	COD	BOD	COD
Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	9,92 mg/L	21,01 mg/L	30 mg/L	50 mg/L
Anaerobic Filter (AF)	9,44 mg/L	19,4 mg/L		

## C. Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya dibandingkan untuk mengetahui biaya yang harus disiapkan untuk membangun sebuah IPAL. Namun selain biaya konstruksi juga harus dibandingkan biaya operasi dan perawatan agar investor bisa mendapat pertimbangan biaya yang lebih matang. Perbandingan

rencana anggaran biaya untuk masing-masing IPAL dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 5.11 Perbandingan Biaya Konstruksi dan OM Kedua Jenis IPAL**

Unit	Biaya Konstruksi	Biaya O&M 5 tahun
Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	Rp 930,175,783,-	Rp 243.134.720,-
Anaerobic Filter (AF)	Rp 966,801,721,-	Rp 245.134.720,-

Dari grafik perbandingan biaya OM dapat diketahui bahwa biaya perawatan unit AF lebih mahal dibandingkan dengan unit ABR. Hal ini dikarenakan pada unit AF diperlukan pembersihan media secara berkala dengan cara penyemprotan air dari atas dengan tekanan yang cukup untuk mengurangi penumpukan dan penebalan *biofilm* yang dapat menyebabkan *clogging* dan mengurangi kinerja pengolahan.



## **BAB 6**

### **Kesimpulan & Saran**

#### **6.1 Kesimpulan**

1. Hasil perhitungan desain IPAL *Anaerobic filter* dimensi bak ekualisasi (2 m x 2 m x 1 m), *septic tank* kompartemen I (4 m x 4 m x 2 m) kompartemen II (2 m x 4 m x 2 m), AF tiap kompartemen (4 m x 8,3 m x 2 m) sebanyak 4 buah.
2. Perhitungan desain IPAL *Anaerobic Baffled Reactor* menghasikan dimensi bak ekualisasi (2 m x 2 m x 1 m), *septic tank* (5 m x 4 m x 2 m), ABR tiap kompartemen (1 m x 11,6 m x 2m) sebanyak 10 buah.
3. Rencana Anggaran Biaya Unit AF Rp 966,801,721,- biaya OM Rp 4.085.579,-/bulan. Sedangkan Unit ABR Rp930,175,783,- serta biaya OM Rp 4.052.245,-/ bulan.
4. Anaerobic Baffled Reactor memiliki keunggulan dari segi luas kebutuhan lahan serta biaya konstruksi dan OM dibandingkan dengan Anaerobic Filter. Oleh karena itu disimpulkan bahwa unit Anaerobic Baffled Reactor lebih cocok digunakan di Rumah Susun Romokalisari.

#### **6.2 Saran**

1. Perlu dibuat unit *water recycle* untuk effluent dari IPAL agar air yang keluar dari IPAL dapat dimanfaatkan kembali oleh penghuni rumah susun.
2. Diperlukan perencanaan lebih lanjut dengan menambahkan unit *wetland* yang ditanami dengan tumbuhan air yang mampu menyerap nitrogen untuk mengurangi kadar nitrogen yang terlalu tinggi sebelum dibuang ke badan air.

**“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”**

## Daftar Pustaka

- Anonim. 2001 . *Guide Extensive Wastewater Treatment Processes Adapted to smaall and Medium Communities*. European Commission
- Anonim. 2011. *Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik Dan Sarana Kesehatan. Jakarta
- BARBER, W.P.; STUCKEY D.C. (1999): *The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment- A review*. In: Wat. Res 33, 7.
- Environmental Protection Agency.1977.*Water Quality Criteria 1976*, Report no EPAR3-73-003, Environmental Protection Agency, Washington, DC
- Fair, Gordon Maskew & Geyer, Gordon Maskew & Okun, Daniel Alexander.1966. *Water and wastewater engineering*. Wiley, New York
- Metcalf & Eddy. 2014. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, Volume 2. McGraw-Hill Education.
- Morel, A.; Diener, S. (2006): *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods*. (= SANDEC Report No. 14/06). Duebendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC).
- Nurhidayat Alfi, Hermana Joni. 2009. "Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Sanitasi Skala Lingkungan Berbasis Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur". Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi X Program Studi MMT-ITS, Surabaya.
- Polprasert, C.1989. *Organic Waste Recycling*. John Wiley& Son,Chichester, Inggris
- Reynolds, T.D. 1982. "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering". Boston : B/C Engineering Division.

- Said, N.I. 2000. " Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob". Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.1 No.2. Jakarta.
- Salvato, Joseph A (1982). *Environmental Engineering and Sanitation* (3rd ed). Wiley, New York
- Sasse, L. ; BORDA (Editor) (1998): *DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).
- Tchobanoglous, George, (author.) & Burton, Franklin L. (Franklin Louis), 1927-, (author.) & Stensel, H. David, (author.) & Metcalf & Eddy (author.) (2003). *Wastewater engineering : treatment and reuse* (Fourth edition). New York, NY McGraw-Hill
- Tilley, E.; Ulrich, L.; Luethi, C.; Raymond, P.; Zurbrugg, C. (2014): *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Duebendorf, Switzerland: Swiss
- Yudo Satmoko. 2010. Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung Di Wilayah DKI Jakarta Ditinjau Dari Parameter Organik, Amoniak, Fosfat, Deterjen, Dan Bakteri Coli. Jurnal Air Indonesia Vol.6 No. 1

## Lampiran A Spesifikasi Pompa

PUMP		
Liquid Handled	Type of liquid	Dirty water, sewage water
	Max temperature [°C]	40
	Max solids size [mm]	50 spherical
Maximum immersion [m]		7
Construction	Impeller	Single channel (DW) Vortex (DW VOX)
	Shaft seal type	Double mechanical seal
	Bearing	Sealed ball bearing
Pipe Connection	Suction-Flange [mm]	50 Open
	Discharge-Flange	DW - G 2 UNI ISO 228 DWF - Flange DN 50
	Casing	AISI 304
Material	Impeller	AISI 304
	Casing cover	AISI 304
	Shaft seal	Pump side : SiC/SiC/NBR Motor side : Carbon/Ceramic/NBR
	Seal cover	AISI 304
	Shaft	AISI 303 (wet extension)
	Lubricating liquid	White mineral oil: Esso Marcol 152 (385 cc)
Applicable standard of test		ISO 9906 - Annex A

MOTOR			
Type		Submersible dry type	
		Single Phase	Three Phase
No. of Poles		2	
Rotation speed [min <sup>-1</sup> ]		≈2800	
Insulation Class		F	
Protection degree		IP X8	
Power rating	[kW]	0.55 + 1.1	0.55 + 2.2
	[HP]	0.75 + 1.5	0.75 + 3
Frequency [Hz]		50	
Voltage [V]		230 ±10%	400 ±10%
Capacitor		Built in	-
Over load protection		Built in	Provided by the user
Float switch		Optional	-
Float switch cable	material	H07RN-F	-
	size	3G1	-
Power cable	length [m]	10	
	material	H07RN-F	FG50K
	size	3G1 (up to 0.55 kW) 3G1.5 (from 0.75 to 1.1 kW)	4G1.5 + 2x0.5
Dimensions of cable entry		Cable Gland	

**Lampiran B**  
**Analisa Harga Satuan Pokok Kegiatan**

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
1	Penggalian 1 m3 Tanah Biasa untuk Konstruksi SNI 2835:2008 (6.1)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	0,025	Rp 104,500	Rp	2,613
	Pembantu Tukang	O.H	0,75	Rp 71,500	Rp	53,625
	Total Harga				Rp	56,238
2	Pemasangan Pipa (PVC) Air Kotor tipe AW diameter 1" SNI 2002 Pekerjaan Sanitasi (6.32)					
	Upah:					
	Mandor	O.H	0,0041	Rp 104,500	Rp	428
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,0135	Rp 99,500	Rp	1,343
	Tukang Batu	O.H	0,135	Rp 75,400	Rp	10,179
	Pembantu Tukang	O.H	0,081	Rp 71,500	Rp	5,792

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
	Bahan:					
	Pipa PVC 1" type C Panjang 4 m	batang	0,3	Rp 26,630	Rp	7,989
	F Perlengkapan 35% harga pipa	buah	0,105	Rp 7,989	Rp	839
	Total Harga				Rp	26,570
3	Pemasangan Pipa (PVC) Air Kotor tipe AW diameter 2" SNI 2002 Pekerjaan Sanitasi (6.32)					
	Upah:					
	Mandor	O.H	0,0027	Rp 104,500	Rp	282
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,009	Rp 99,500	Rp	896
	Tukang Batu	O.H	0,09	Rp 75,400	Rp	6,786
	Pembantu Tukang	O.H	0,054	Rp 71,500	Rp	3,861
	Bahan:					
	Pipa PVC 2" type C Panjang 4 m	batang	0,2	Rp 58,610	Rp	11,722
	F Perlengkapan 35% harga pipa	buah	0,07	Rp 17,583	Rp	1,231

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
	Total Harga				Rp	24,777
5	Pengurugan 1 m3 Tanah Kembali untuk Konstruksi SNI 03-2835-2002 (6.8)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	0,019	Rp 104,500	Rp	1,986
	Pembantu Tukang	O.H	0,102	Rp 71,500	Rp	7,293
	Total Harga				Rp	9,279
6	Pengurugan Pasir SNI 2835:2008 (6.11)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	0,01	Rp 104,500	Rp	1,045
	Pembantu Tukang	O.H	0,3	Rp 71,500	Rp	21,450
	Bahan:					
	Pasir Urug	m3	1,2000	Rp 115,000	Rp	138,000



No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
Total Harga					Rp	160,495
7	Pekerjaan Dinding 1 m3 Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting) SNI 7394:2008 (6.33)					
	Upah :					
	Mandor	O.H	0,265	Rp 104,500	Rp	27,693
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,262	Rp 99,500	Rp	26,069
	Tukang Besi	O.H	1,05	Rp 75,400	Rp	79,170
	Tukang Batu	O.H	0,275	Rp 75,400	Rp	20,735
	Tukang Kayu	O.H	1,3	Rp 75,400	Rp	98,020
	Pembantu Tukang	O.H	5,3	Rp 71,500	Rp	378,950
	Bahan:					
	Semen portland (40kg)	zak	8,4000	Rp 66,000	Rp	554,400
	Pasir Beton	m3	0,5400	Rp 172,500	Rp	93,150
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	0,8100	Rp 286,000	Rp	231,660
	Besi Beton (polos/ulir) dia 6mm	kg	157,5000	Rp 10,500	Rp	1,653,750

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
	Kawat Beton	kg	2,2500	Rp	27,000	Rp 60,750
	Kayu meranti bekisting	m3	0,2400	Rp	3,622,500	Rp 869,400
	Kayu Kamper balok 3/5	m3	0,1600	Rp	5,780,000	Rp 924,800
	Plywood tebal 9 mm	lembar	2,8000	Rp	93,600	Rp 262,080
	Paku Usuk	kg	3,2000	Rp	19,000	Rp 60,800
	Minyak Bekisting 1.6000	liter	1,6000	Rp	7,000	Rp 11,200
						Rp 5,352,627
8	Pekerjaan Lantai Beton K-100					
	SNI 7394:2008 (6.1)					
	Upah :					
	Pembantu Tukang	O.H	1,6500	Rp	71,500	Rp 117,975
	Tukang Batu	O.H	0,2700	Rp	93,500	Rp 25,245
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,0280	Rp	99,000	Rp 2,772
	Mandor	O.H	0,0830	Rp	104,500	Rp 8,674
	Bahan:					
	Semen portland (40kg)	zak	6,1750	Rp	63,200	Rp 390,260

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan		
	Pasir Beton	m3	0,5431	Rp	169,000	Rp	91,784
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	0,5258	Rp	287,000	Rp	150,905
	Total Harga					Rp	787,614
9	Pekerjaan Pembesian Dinding dengan besi beton (polos/ulir) SNI 7394:2008 (6.17)						
	Upah:						
	Mandor	O.H	0,0004	Rp	104,500	Rp	42
	Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp	99,000	Rp	69
	Tukang Besi	O.H	0,007	Rp	93,500	Rp	655
	Pembantu Besi	O.H	0,007	Rp	71,500	Rp	501
	Bahan:						
	Besi Beton (polos) dia 6 mm	Kg	1,0500	Rp	10,500	Rp	11,025
	Kawat beton	Kg	0,0150	Rp	23,000	Rp	345
	Total Harga					Rp	12,636

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
11	Pekerjaan Beton Dinding K-100 SNI 7394:2008 (6.1)					
	Upah:					
	Pembantu Tukang	O.H	1,65	Rp 71,500	Rp	117,975
	Tukang Batu	O.H	0,275	Rp 93,500	Rp	25,713
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,028	Rp 99,000	Rp	2,772
	Mandor	O.H	0,083	Rp 104,500	Rp	8,674
	Bahan:					
	Semen portland (40kg)	zak	6,175	Rp 57,000	Rp	351,975
	Pasir Beton	m3	0,5431	Rp 159,500	Rp	86,624
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	0,5258	Rp 268,000	Rp	140,914
	Air (biaya air tawar)	liter	215000	Rp -	Rp	-
	Total Harga				Rp	734,647
12	Pekerjaan Beton Atap K-225 SNI 7394:2008 (6.7)					
120						

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan	
	Upah :					
	Pembantu Tukang	O.H	1,6500	Rp	71,500	Rp 117,975
	Tukang Batu	O.H	0,2700	Rp	93,500	Rp 25,245
	Kepala Tukang Batu	O.H	0,0280	Rp	99,000	Rp 2,772
	Mandor	O.H	0,0830	Rp	104,500	Rp 8,674
	Bahan:					
	Semen portland (40kg)	zak	9,2750	Rp	63,200	Rp 586,180
	Pasir Beton	m3	0,4363	Rp	169,000	Rp 73,735
	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	m3	0,5511	Rp	287,000	Rp 158,166
	Total Harga					Rp 972,746

13 Pekerjaan Pembesian Atap dengan besi beton (polos/ulir)

Upah:

Pembantu Tukang	O.H	0,007	Rp	71,500	Rp	501
Tukang Besi	O.H	0,007	Rp	93,500	Rp	655
Kepala Tukang Besi	O.H	0,0007	Rp	99,000	Rp	69

No	Pekerjaan	Satuan	Koef. Satuan	Harga	Harga Satuan		
	Mandor	O.H	0,0004	Rp	104,500	Rp	42
	Bahan:						
	Besi Beton (polos) dia 6mm	Kg	1,0500	Rp	9,100	Rp	9,555
	Kawat Beton	Kg	0,0150	Rp	23,000	Rp	345
	Total Harga					Rp	11,166
14	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan SNI 03-2835-2002 (6.8)						
	Upah:						
	Mandor	O.H	0,025	Rp	104,500	Rp	2,613
	Pembantu Tukang	O.H	0,05	Rp	71,500	Rp	3,575
	Total Harga					Rp	6,188